



TUGAS AKHIR - MO141326

**ANALISA STABILITAS MODEL TERUMBU BUATAN
BENTUK HEXAGONAL**

FIQHI FAISAL

NRP. 4312 100 022

DOSEN PEMBIMBING :

Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D.

Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc.

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**



FINAL PROJECT - MO141326

**STABILITY ANALYSIS OF HEXAGONAL ARTIFICIAL
REEF MODELS**

FIQHI FAISAL

NRP. 4312 100 022

SUPERVISORS :

Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D.

Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc.

**DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

ANALISA STABILITAS MODEL TERUMBU BUATAN BENTUK HEXAGONAL

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

FIQHI FAISAL

NRP. 4312100022

Disetujui Oleh :

1. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc. (Pembimbing 2)

3. Drs. Mahmud Mustain, M.Sc., Ph.D. (Penguji 1)

4. Sujantoko, S.T., M.T. (Penguji 2)



Surabaya, Januari 2017

ANALISA STABILITAS MODEL TERUMBU BUATAN BENTUK HEXAGONAL

Nama Mahasiswa : Fiqhi Faisal

NRP : 4312100022

Jurusan : Teknik Kelautan, FTK-ITS

Dosen Pembimbing : 1. Haryo Dwito Armono, ST., M.Eng., Ph.D.

2. Dr. Eng. Muhammad Zikra, ST., M.Sc.

ABSTRAK

Terumbu karang buatan adalah sebuah bangunan yang sengaja ditenggelamkan untuk mengatasi masalah kerusakan terumbu karang dan juga sekaligus difungsikan sebagai peredam energi gelombang. Terkait dengan fungsinya sebagai peredam gelombang, maka perlu dilakukan analisa stabilitas untuk mengetahui nilai koefisien stabilitas (K_D). Berat jenis relatif ($\Delta = \gamma_r/\gamma_a - 1$) model digunakan untuk analisa pengujian.

Penelitian uji model fisik 2 dimensi dilakukan di Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut, Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS Surabaya. Skala model yang digunakan 1:10 dan diuji menggunakan gelombang regular dengan lima variasi tinggi gelombang (H), tiga periode gelombang (T) serta tiga variasi berat model (W_r).

Parameter yang digunakan dalam penelitian adalah bilangan stabilitas ($H_i/\Delta D_n$), kecuraman gelombang (H/gT^2) dan kedalaman air relatif (d/H_i). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai koefisien stabilitas (K_D) akan berbanding lurus dengan nilai bilangan stabilitas dan kecuraman gelombang, sedangkan untuk kedalaman air relatif nilainya berbanding terbalik dengan koefisien stabilitas. Nilai rerata K_D untuk model Hexa1 ($\Delta = 0.379$) sebesar 14.13, Hexa2 ($\Delta = 0.591$) = 3.69 dan Hexa3 ($\Delta = 0.656$) = 1.68. Nilai Koefisien stabilitas menurun dengan meningkatnya nilai berat jenis relatif.

Kata kunci : terumbu buatan, Hexagonal, model fisik, koefisien stabilitas

STABILITY ANALYSIS OF HEXAGONAL ARTIFICIAL REEF MODELS

Name of Student : Fiqhi Faisal
REG : 4312100022
Department : Ocean Engineering, FTK-ITS
Supervisor : 1. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D.
2. Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc.

ABSTRACT

Artificial reef is a structure that deliberately sunk to overcome the problem of coral reef's damage and also served as wave energy absorbers. Related to its function as a wave reducer, it is necessary to analyze its stability to determine the value of the coefficient of stability (K_D). This research use relative specific gravity ($\Delta = \gamma_r/\gamma_a - 1$) of Hexagonal models for reef stability testing.

Two dimensional physical model test take place on The Environmental and Ocean Energy Laboratory of Ocean Engineering Department, Faculty of Marine Technology, ITS Surabaya. The model-scale was 1:10 and tested using regular wave, with five variations of wave height (H), three period wave (T) and three variations of model weight (W_r).

The parameters used in test is stability number ($H_i/\Delta D_n$), wave steepness (H_i/gT^2) and relative water depth (d/H_i). The result showed that the coefficient of stability (K_D) directly proportional to the stability number and wave steepness, while the relative water depth value is inversely proportional to the coefficient of stability. The average value of coefficient stability for the model Hexa1 ($\Delta = 0.379$) = 14.13, Hexa2 ($\Delta = 0.591$) = 3.69, and Hexa3 ($\Delta = 0.656$) = 1.68. The K_D values decrease with increasing specific gravity. Higher value of relative specific gravity result in stable artificial reef.

Key words : artificial reef, Hexagonal, physical model, coefficient stability

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan hidayah dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Analisa Stabilitas Model Terumbu Buatan Bentuk Hexagonal" dengan lancar.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan penting dalam menyelesaikan Program Studi Sarjana (S-1) penulis di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Dalam pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini, penulis tidak memungkiri jika terdapat kekurangan baik yang sengaja maupun tidak disengaja. Maka dari itu penulis mengharapkan adanya saran dan masukan yang membangun untuk Tugas Akhir ini ataupun untuk penelitian selanjutnya. Semoga Tugas Akhir ini dapat berguna dan bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang teknik kelautan khususnya pada aspek perlindungan pantai.

Surabaya, 1 Januari 2017

Penulis

UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam mengerjakan penelitian dan penulisan laporan untuk Tugas Akhir ini ada berbagai pihak yang ikut membantu dan memberikan dukungan untuk penulis, baik secara langsung maupun tidak. Maka dari itu penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
2. Kedua orang tua penulis yang selalu memberikan motivasi, masukan, biaya dan doa dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing 1 yang berkenan meluangkan waktu untuk membimbing, mengarahkan, memberikan masukan serta ilmu yang berguna dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah berkenan meluangkan waktu untuk membimbing dan memberikan masukan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
5. Bapak Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D., selaku kepala Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut yang berkenan memberikan izin penggunaan laboratorium.
6. Bapak Arif Mochtar, selaku teknisi laboratorium yang berkenan meluangkan waktunya dalam membantu proses pengujian.
7. Teman-teman Yusef dan Darmo yang banyak membantu pembuatan model dan penyemangat bagi penulis saat pengerjaan Tugas Akhir
8. Teman-teman seperjuangan (Tim Hore) Aris, Ipul, Haris yang banyak membantu dalam eksperimen maupun penulisan Tugas Akhir.
9. Teman-teman "Peneliti Muda Sukses" Fajar, Bob, Aris, Ucup, Anwur, Vito, dan Hafid yang telah menjadi penyemangat saat mengerjakan Tugas Akhir.
10. Keluarga Besar Angkatan 2012 Teknik Kelautan FTK-ITS (VARUNA) atas kebersamaan, kekeluargaan dan lika-liku kehidupan perkuliahan yang telah dilalui bersama dalam suka dan duka. Terima kasih banyak.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xiv
LAMPIRAN	xvi
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan.....	4
1.4. Manfaat	4
1.5. Batasan Masalah	4
1.6. Sistematika Penulisan	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
2.1. Tinjauan Pustaka.....	7
2.2. Dasar Teori	9
2.2.1. Perlindungan pantai	9
2.2.2. Terumbu buatan.....	10
2.2.3. Dasar teori gelombang.....	11
2.2.3.1. Gelombang regular	13

2.2.3.2. Gelombang acak	14
2.2.4. Klasifikasi teori gelombang	15
2.2.5. Gaya gelombang terhadap struktur	17
2.2.6. Analisa stabilitas	19
2.2.6.1. Gaya seret	20
2.2.6.2. Gaya inersia	20
2.2.6.3. Gesekan permukaan	21
2.2.6.4. Gaya apung	21
2.2.6.5. Gaya angkat	22
2.2.6.6. Gaya penahan	22
2.2.7. Persamaan Hudson	22
2.2.8. Hukum pemodelan fisik	23
2.2.8.1. Sebangun geometrik	24
2.2.8.2. Sebangun kinematik	26
2.2.8.3. Sebangun dinamik	26
2.2.8.4. Bilangan Froude	27
2.2.9. Analisa Parameter	28
 BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	 31
3.1. Diagram Alir Penelitian	31
3.2. Penjelasan diagram alir	32
3.2.1. Studi literatur	32
3.2.2. Persiapan percobaan	32
3.2.2.1. Pengecekan alat laboratorium	33
3.2.2.2. Perancangan dan pembuatan Model Terumbu Buatan	36
3.2.2.3. Desain Eksperimen model	38
3.2.2.4. Analisa Dimensi	41

BAB IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN	45
4.1. Pendahuluan.....	45
4.2. Analisa Data.....	46
4.2.1. Kalibrasi probe	46
4.2.2. Pengolahan data hasil eksperimen	47
4.3. Pengamatan pengujian secara visual	49
4.4. Perhitungan gaya gelombang terhadap model	52
4.5. Pengaruh koefisien stabilitas (K_D) terhadap bilangan stabilitas ($H_i/\Delta D_n$)...	54
4.6. Pengaruh koefisien stabilitas terhadap kecuraman gelombang (H/gT^2)	57
4.7. Pengaruh koefisien stabilitas terhadap kedalaman air relatif (d/H).....	58
4.8. Perbandingan koefisien stabilitas (K_D) Hexareef terhadap model lainnya...	59
 BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	 61
5.1. Kesimpulan.....	61
5.2. Saran	61
 DAFTAR PUSTAKA	 63
LAMPIRAN	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Bentuk model terumbu buatan tipe Hexagonal. (a) tampak atas (b) bawah dan (c) samping.	3
Gambar 2.1.	Model Reef Ball	8
Gambar 2.2.	Model silinder berongga.....	8
Gambar 2.3.	Perbandingan koefisien stabilitas (K_D) untuk bentuk model Armor A-Jack, Tetrapod dan Kubus pada nilai $d/h = 0.95$	9
Gambar 2.4.	Jenis-jenis terumbu karang buatan (<i>Artificial reef</i>).	11
Gambar 2.5.	Karakteristik gelombang.	12
Gambar 2.6.	Karakteristik Gelombang Sinusoidal.....	13
Gambar 2.7.	Definisi Gelombang Irregular.....	14
Gambar 2.8.	Profil gelombang Airy, Stokes dan Cnoidal.....	16
Gambar 2.9.	Daerah penerapan teori gelombang fungsi H/d dan d/L	17
Gambar 2.10.	Skema gaya hidrodinamis gelombang.....	18
Gambar 2.11.	Definisi dasar teori gelombang yang digunakan untuk analisa stabilitas.....	19
Gambar 2.12.	Contoh sebangun geometrik.....	25
Gambar 2.13.	Contoh sebangun kinematik.	26
Gambar 3.1.	Diagram alir penelitian.	32
Gambar 3.2.	Kolam gelombang pengujian.....	33
Gambar 3.3.	Pembangkit Gelombang.	34
Gambar 3.4.	Wave probe yang digunakan untuk pengujian.	35
Gambar 3.5.	Komputer Kontrol.	35
Gambar 3.6.	Alat untuk kalibrasi probe.	36
Gambar 3.7.	Desain model terumbu buatan hexagonal potongan A-A.....	37
Gambar 3.8.	Tampak samping dan tampak atas seting model di kolam uji.....	39

Gambar 4.1.	Hasil kalibrasi dengan menggunakan perangkat lunak <i>AnaWare</i> ..	46
Gambar 4.2.	Posisi awal model sebelum terkena gelombang uji.	50
Gambar 4.3.	Posisi model bergeser akibat terkena gelombang uji.	50
Gambar 4.4.	Hubungan koefisien stabilitas (K_D) terhadap bilangan stabilitas ($H_i/\Delta Dn$) untuk bentuk Hexagonal	54
Gambar 4.5.	Hubungan koefisien stabilitas (K_D) terhadap bilangan stabilitas ($H_i/\Delta Dn$) untuk model (a) Hexa1, (b) Hexa2 dan (c) Hexa3.	55
Gambar 4.6.	Hubungan koefisien stabilitas (K_D) dengan berat model (W).	56
Gambar 4.7.	Hubungan koefisien stabilitas (K_D) terhadap kecuraman gelombang (H/gT^2).	58
Gambar 4.8.	Hubungan koefisien stabilitas (K_D) terhadap kedalaman air relatif (d/H)	59
Gambar 4.9.	Hubungan koefisien stabilitas (K_D) dengan kecuraman gelombang (H_i/gT^2) untuk model Hexa1, Hexa2, Hexa3 dan Bottle Ball.	60

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Batasan gelombang air dangkal, transisi dan dalam.	16
Tabel 2.	Volume, berat dan berat jenis masing-masing model uji.	38
Tabel 3.	Variasi percobaan.	40
Tabel 4.	Tabel parameter skala model.	41
Tabel 5.	Penentuan nilai α , β dan τ	42
Tabel 6.	Penentuan nilai π	42
Tabel 7.	Parameter yang digunakan dalam pengujian	45
Tabel 8.	Data dari probe 1 dan probe 2	46
Tabel 9.	Rekaman data probe 1 dan probe 2	47
Tabel 10.	Nilai H input dan H output.model Hexa1	48
Tabel 11.	Nilai H input dan H output model Hexa2	48
Tabel 12.	Nilai H input dan H output model Hexa3	49
Tabel 13.	Hasil pengamatan visual respon model (a) Hexa1, (b) Hexa2 dan (c) Hexa3.	50
Tabel 14.	Perbandingan hasil perhitungan dan eksperimen untuk model dengan berat (a) 2,6 Kg, (b) 3 Kg dan (c) 4,6 Kg.	52
Tabel 15.	Hasil perhitungan nilai K_D dan $H_i/\Delta D_n$	56
Tabel 16.	Rentan nilai K_D dan H_i/gT^2 untuk model Hexa1, Hexa2, Hexa3 dan Bottle Reef.	60

DAFTAR NOTASI

A	=	Amplitudo gelombang
A_p	=	Luas permukaan objek per satuan panjang
C	=	Kecepatan rambat gelombang
C_D	=	Koefisien seret
C_I	=	Koefisien inersia
C_L	=	Koefisien angkat
H	=	Tinggi gelombang
L_o	=	Panjang gelombang
T	=	Periode gelombang
SWL	=	Still water level
F	=	Freeboard
F_B	=	Gaya apung
F_D	=	Gaya seret
F_f	=	Gaya gesek
F_G	=	Gaya gravitasi
F_L	=	Gaya angkat
Fr	=	Bilangan Froud
\bar{H}	=	Tinggi gelombang rerata
H_i	=	Tinggi gelombang datang
H_s	=	Tinggi gelombang signifikan
kc	=	Bilangan carpenter
K_D	=	Koefisien stabilitas
L	=	Panjang spesifik
L_m	=	Panjang model
L_p	=	Panjang prototype
M	=	Massa
N	=	Jumlah gelombang
N_s	=	Bilangan stabilitas
nL	=	Skala panjang

n_h	=	Skala tinggi
Re	=	Bilangan Reynold
S	=	Spesific gravity
\bar{T}	=	Periode gelombang rerata
T_c	=	Periode semu
T_r	=	Periode lintas nol semu
V	=	Volume armor
V_m	=	Volume model
W_D	=	Berat objek
W_r	=	Berat model
X	=	Variabel predictor
Y	=	Variabel respon
a	=	Percepatan
d	=	Kedalaman air
k	=	Angka gelombang
$m.$	=	Model
m	=	Kemiringan struktur
g	=	Percepatan gravitasi
p	=	Prototipe
γ	=	Elevasi gelombang
α	=	Sudut kemiringan struktur
γ_r	=	Berat jenis model
γ_a	=	Berat jenis air
μ	=	Koefisien gesek statis
θ	=	Sudut kemiringan struktur
Δ	=	berat jenis relatif $((\gamma_r - \gamma_a) - 1)$

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

LAMPIRAN 2

LAMPIRAN 3

LAMPIRAN 4

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Terumbu karang secara ekologis berperan sebagai habitat dari berbagai jenis organisme laut., secara ekonomi terumbu karang di perairan tropis khususnya mempunyai tingkat produktifitas yang tinggi. Hal ini menyebabkan berbagai pihak tertarik untuk melakukan eksplorasi dan eksploitasi pada kawasan terumbu karang sehingga menyebabkan kawasan terumbu karang rentan terhadap kerusakan. Menurut survei LIPI (2016) kondisi terumbu karang Indonesia secara umum adalah 5% berstatus sangat baik, 27,01% dalam kondisi baik, 37,97% dalam kondisi buruk, dan 30,02% dalam kondisi jelek. Kerusakan terumbu karang dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya penangkapan ikan dengan menggunakan bahan beracun sehingga menyebabkan biota laut mati. Hal lain yang mempengaruhi kerusakan terumbu karang adalah penggunaan pukat harimau oleh nelayan sehingga banyak terumbu karang patah terseret jaring nelayan. Restorasi terumbu karang yang tidak segera dilakukan dapat mengakibatkan ikan meninggalkan kawasan tersebut sehingga nelayan akan mengalami pengurangan pendapatan hasil tangkap. Resiko yang tidak kalah besarnya adalah terjadinya abrasi yang menyebabkan pengikisan garis pantai.

Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengatasi terumbu karang yang rusak adalah dengan penanaman transplantasi karang dan teknologi terumbu karang buatan. Istilah terumbu karang buatan (*artificial reefs*) sering digunakan oleh beberapa peneliti untuk berbagai bentuk bangunan atau benda-benda yang ditenggelamkan ke dasar laut. Menurut Armono (2004), benda-benda ini digunakan untuk memberikan tempat perlindungan yang aman bagi hewan-hewan laut dan sekaligus juga meningkatkan produktifitas ikan, namun ada juga yang didesain terutama untuk mengurangi energi gelombang. Sedangkan menurut jaringan peneliti terumbu karang di Eropa (*European Artificial Reef Research Network – EANRNN*) mendefinisikan terumbu buatan sebagai suatu bangunan yang sengaja ditanamkan untuk menirukan karakteristik terumbu karang. Meninjau fungsi terumbu karang buatan yang bisa juga digunakan sebagai peredam energi

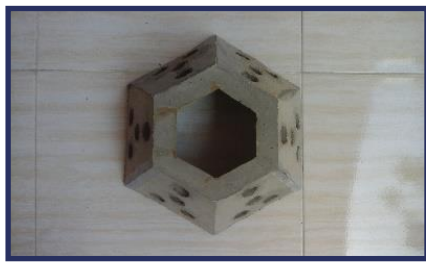
gelombang, hal ini tentunya selaras dengan berkembangnya ilmu tentang rekayasa pantai yang saat ini sedang mengalami pergeseran paradigma dari pendekatan rekayasa secara teknis yang lugas (*hard engineering approach*) kearah pendekatan yang lebih mengedepankan aspek ramah lingkungan (*soft engineering approach*), misalnya bangunan pemecah gelombang yang awal ambangnya selalu terletak di atas muka air laut kini diturunkan elevasinya hingga terletak dibawah muka air laut. Black (2001) menyatakan bahwa penggunaan pemecah gelombang tipe *seawall* dapat mengganggu pemandangan serta menyulitkan aktifitas masyarakat pantai. Suatu struktur pelindung pantai diperlukan untuk melindungi pantai terhadap erosi, namun diharapkan tidak merusak keindahan pantai (Yuwono, dkk. 1997)

Beberapa desain terumbu buatan yang sudah dikebangkan antara lain *Aqua Reef* (Jepang), *Turtle Reef*, *Reef Ball*, *Ultra Ball*, *Bay Ball* (USA), *Woosung* (Korea), dan *Bottle Reef*. Dari desain-desain yang sudah ada muncul ide untuk membuat desain baru berbentuk penampang segi enam atau hexagonal yang kemudian diberi nama Hexareef. Sifat-sifat yang perlu diperhitungkan pada penerapan terumbu buatan atau armour diantaranya adalah koefisien stabilitas (K_D), porositas terkait dengan fungsinya sebagai karang buatan dan juga peredam gelombang.. Dalam hal bentuk, perbedaan luasan penampang di bagian atas dan bawah akan memudahkan terumbu buatan disusun saling terbalik dan saling menempel antar permukaan sehingga dinding terumbu dapat saling menyatu (*wall friction*) yang harapannya dapat memperbesar gaya gesek antar unit. Dengan gaya gesek unit yang lebih besar dari komponen horizontal gaya hidrodinamik maka struktur pada saat terkena arus maupun gelombang tetap stabil, dalam hal ini struktur tidak mengalami pergeseran maupun terguling (Takeuchi, 1991). Saat ini untuk menentukan besaran koefisien stabilitas (K_D) pada umumnya menggunakan konsep rumusan Hudson, sebagai berikut :

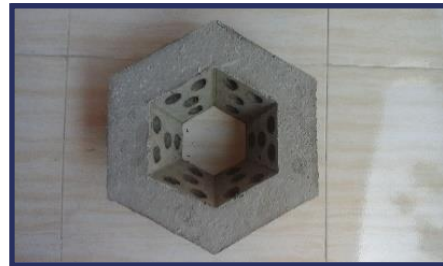
$$K_D = \frac{\gamma_r H s^3}{W_r \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_a} - 1 \right)^3 \cot \theta}$$

Dengan W_r = berat model , γ_r = berat jenis model, γ_a = berat jenis air, H = tinggi gelombang, θ = sudut kemiringan model, K_D = Koefisien stabilitas.

Para ahli telah mendapatkan nilai koefisien stabilitas K_D untuk berbagai jenis model. Model Hexagonal yang digunakan dalam pengujian ini merupakan model baru, maka penulis tertarik untuk menelitinya dan menuangkan dalam bentuk penulisan tugas akhir yang berjudul “Analisa Stabilitas Model Terumbu Buatan Bentuk Hexagonal”. Model yang diuji merupakan single unit bukan model yang tersusun, pengujian dengan menggunakan variasi tinggi gelombang (H), periode (T) dan berat model (W_r).



(a)



(b)



(c)

Gambar 1.1. Bentuk model terumbu buatan tipe Hexagonal. (a) tampak atas (b) bawah dan (c) samping

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan pada uraian latar belakang masalah, maka beberapa pokok permasalahan yang dapat dirumuskan pada tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh tinggi gelombang (T) dan periode gelombang (H) terhadap koefisien stabilitas model Hexareef ?
2. Bagaimana pengaruh berat model (W_r) terhadap koefisien stabilitas model Hexareef ?
3. Bagaimana perbandingan nilai koefisien stabilitas model Hexareef terhadap model yang lain ?

1.3. Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh tinggi gelombang (H) dan periode gelombang (T) terhadap koefisien stabilitas (K_D) model Hexareef.
2. Mengetahui pengaruh berat unit (W_r) terhadap koefisien stabilitas (K_D) model Hexareef.
3. Mengetahui perbandingan nilai koefisien stabilitas (K_D) model Hexareef terhadap model yang lain.

1.4. Manfaat

Dari tugas akhir ini diharapkan dapat diketahui nilai stabilitas dari model Hexareef. Hasil yang didapatkan dapat dimanfaatkan oleh suatu instansi yang akan melakukan restorasi terumbu karang sekaligus menerapkan perlindungan pantai berupa peredam gelombang ambang bawah dengan desain model terumbu buatan bentuk Hexareef. Dengan diketahuinya pengaruh berat terhadap stabilitas model, diharapkan dapat menjadi pertimbangan untuk menentukan berat yang efektif agar struktur tetap stabil pada saat dilapangan.

1.5. Batasan Masalah

Untuk mengurangi permasalahan selama pengerjaan tugas akhir ini, maka diberikan beberapa batasan masalah antara lain sebagai berikut :

1. Material penyusun terum buatan adalah semen, pasir dan strerofoam.
2. Tidak ada pengaruh porositas model.
3. Gelombang yang dibangkitkan adalah gelombang reguler.
4. Arah sudut datang gelombang tegak lurus terhadap model uji.
5. Dasar perairan dianggap rata dan kedap
6. Variasi tinggi gelombang dan periode gelombang ditentukan.
7. Lapisan dasar kolam adalah pasir.
8. Air yang digunakan merupakan air tawar.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan yang digunakan yang digunakan dalam tugas akhir ini sebagai berikut :

Bab I. Pendahuluan

Bab ini menjelaskan mengapa perlu dilakukan penelitian ini yang dibahas dalam latar belakang, perumusan masalah, tujuan serta manfaat dari penelitian ini. Batasan masalah dalam bab ini bertujuan agar dalam pembahasan masalahnya tidak terlalu luas. Untuk memudahkan pemahaman tentang laporan dari penelitian ini maka akan dijelaskan pula sistematika penulisan laporan.

Bab II. Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Bab ini menjelaskan dasar-dasar teori dan tinjauan pustaka yang digunakan sebagai acuan dalam menyelesaikan perumusan masalah yang ada.

Bab III. Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan tentang langkah-langkah secara terperinci dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Bab IV. Analisa dan Pembahasan

Bab ini menjelaskan tentang semua hasil analisa dari penelitian. Bab ini juga membahas tentang hasil pengolahan data yang nantinya akan menjawab tujuan dari dilakukannya penelitian ini.

Bab V. Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi tentang semua jawaban dari permasalahan yang ada serta saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Seiring dengan pergeseran paradigma dari pendekatan rekayasa secara teknis yang lugas ke arah pendekatan yang lebih mengedepankan aspek ramah lingkungan, kini telah banyak penelitian berkaitan dengan terumbu buatan yang sekaligus digunakan sebagai pemecah gelombang ambang bawah. Dalam fungsinya sebagai pemecah gelombang ambang bawah, maka perlu pertimbangan-pertimbangan penting dalam aspek desain terutama mengenai stabilitas unit terumbu buatan, sehingga terumbu buatan dapat tetap stabil pada saat terkena gelombang. Dalam penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Setyorini (2006) mengatakan bahwa terumbu buatan bentuk kubus berongga dengan penyusunan piramida susun rapat dinilai efektif sebagai peredam energi gelombang dengan jenis gelombang regular. Amenan (2008) meneliti stabilitas terumbu buatan bentuk kubus berongga dengan gelombang tidak teratur terhadap susunan model terumbu yang berbeda serta pengaruh tinggi gelombang dan periode gelombang terhadap tingkat kerusakan. Analisa stabilitas juga telah dilakukan oleh Fatnanta (2011) dengan model kantong pasir sebagai pemecah gelombang ambang bawah, dari hasil tes stabilitas tersebut menunjukkan bahwa respon dari karung pasir dipengaruhi oleh elastisitas karung pasir yang tergantung pada dimensi dan rapat masa dimana bentuk karung pasir dan jenis formasi serta kemiringan menjadi hal yang perlu diperhitungkan. Penelitian tentang terumbu berongga telah dilakukan oleh Sidek *et al.* (2007). Dikarenakan adanya rongga maka energi gelombang dapat direduksi dengan mengalirkan gelombang menuju celah-celah dinding terumbu yang berongga, disamping itu adanya rongga akan menambah besar porositas dan menurunkan terjadinya *run-up* gelombang. Rendahnya *run-up* gelombang dapat meningkatkan stabilitas struktur lebih baik. yang datang sebagian akan masuk ke celah rongga permukaan sehingga gaya yang diterima permukaan struktur karena energi gelombang akan sedikit berkurang dan membuat struktur lebih stabil (Palmer and Christian, 1998). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan bentuk terumbu buatan Reef Ball

memang paling baik karena presentasi tutupan dan pertumbuhan karangnya tinggi, oleh karena itu bentuk ini paling sering diimplementasikan.



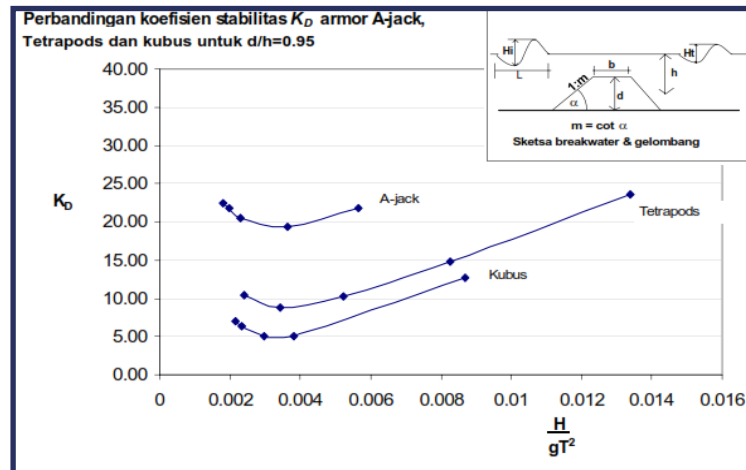
Gambar 2.1. Model Reef Ball (Reef Ball Development Group, 1997)

Bentuk terumbu karang terus mengalami modifikasi guna mendapatkan kesesuaian dan efisiensinya sebagai pemecah gelombang, salah satunya dilakukan oleh Akhwady *et al.* (2012), bentuk model yang digunakan adalah adopsi dari bentuk model silinder dan bentuk model Turtle Reef sehingga muncul bentuk model baru yaitu silinder berongga (*Bottle Reef*).



Gambar 2.2. Model silinder berongga (Akhwady,2012)

Kinog (2005) dalam jurnalnya yang berjudul “Stabilitas Armor pada Breakwater Tenggelam” memberikan grafik hubungan antara koefisien stabilitas (K_D) terhadap kecuraman gelombang (H_i/gT^2) untuk bentuk model Armor A-Jack, Tetrapod dan Kubus. Semakin besar nilai kecuraman gelombang maka koefisien stabilitas juga akan meningkat.



Gambar 2.3. Perbandingan koefisien stabilitas (K_D) untuk bentuk model Armor A-Jack, Tetrapod dan Kubus pada nilai $d/h = 0.95$ (Kinog,2005).

Dalam tugas akhir ini bentuk model yang digunakan juga merupakan bentuk model baru, diadopsi dari bentuk model Reef Ball dan bentuk model kubah yang akhirnya muncul model bentuk Hexagonal. Untuk mengetahui tingkat stabilitas dari model bentuk Hexagonal ini maka selanjutnya akan dilakukan uji stabilitas untuk mengetahui nilai koefisien stabilitas dengan menggunakan model persamaan stabilitas Hudson.

2.2. Dasar Teori

Dasar teori merupakan teori yang secara langsung berhubungan atau digunakan dalam perhitungan maupun pembahasan.

2.2.1. Perlindungan pantai

Pantai adalah jalur yang merupakan batas antara darat dan laut, diukur pada saat pasang tertinggi dan surut terendah. Proses kerusakan pantai yang berupa abrasi atau erosi pantai dapat terjadi secara alami dan buatan. Perlindungan pantai seharusnya bersifat komprehensif dan efektif untuk menanggulangi permasalahan kerusakan yang ada. Hal itu akan dapat tercapai apabila penyebab kerusakan pantai dapat diketahui, yaitu :

a. Kerusakan pantai secara alami :

- Sifat dataran pantai yang masih muda dan belum berimbang.
- Naiknya ketinggian gelombang.

- Hilangnya perlindungan pantai (bakau, terumbu karang, *sand dune*).
- Naiknya muka air karena pengaruh global warming.

b. Kerusakan pantai karena sebab buatan :

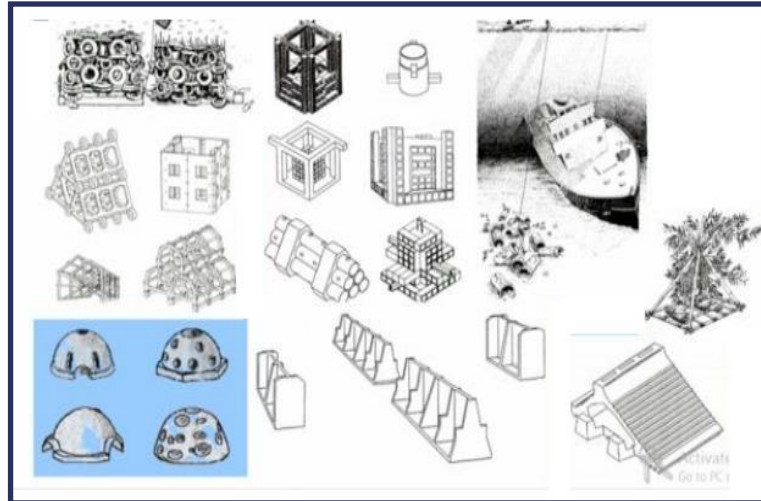
- Perusakan perlindungan pantai alami, seperti kegiatan penebangan bakau, perusakan terumbu karang, pengambilan pasir di pantai, dan lain-lain.
- Perubahan imbang transportasi sedimen sejajar pantai akibat pembuatan bangunan pantai, seperti: jetty, pemecah gelombang, pelabuhan, dan lain-lain.
- Perubahan suplai sedimen dari daratan, contohnya: perubahan aliran sungai atau sudetan sungai, pembuatan bendungan di hulu sungai, dan lain-lain.
- Pengembangan pantai yang tidak sesuai dengan proses pantai.

Pada umumnya penyebab kerusakan pantai merupakan gabungan dari beberapa faktor diatas. Agar penanganan masalah abrasi atau erosi pantai dapat dilakukan dengan baik, maka penyebabnya harus diidentifikasi terlebih dahulu. Dengan adanya pengembangan pantai untuk berbagai kepentingan, maka keseimbangan dan perlindungan alami pantai yang ada dapat terusik ataupun rusak. Hal ini menyebabkan pantai menjadi terbuka dan rentan terhadap erosi atau abrasi.

2.2.2. Terumbu buatan

Terumbu buatan (*Artificial reefs*) adalah struktur buatan manusia semacam struktur bawah air yang meniru karakteristik terumbu alami dengan material tertentu seperti dari bahan balok beton, potongan kapal, perahu kayu, mobil bekas, dan ban bekas serta bambu. Terumbu buatan pada umumnya ditujukan sebagai tempat berlindung dan mencari makan dari habitat serta sebagai tempat pemijahan, dapat juga berfungsi untuk menahan gelombang, membaurkan dan mengurangi energi gelombang guna perlindungan pantai (Armono,1999). Terumbu buatan biasanya ditempatkan pada daerah yang memerlukan pemulihan

atau peningkatan lingkungan yang rusak dengan ditandai rendahnya produktifitas terumbu karang alami telah rusak dan area dimana diperlukan sebagai pembangkit gelombang kecil untuk kegiatan pariwisata (Armono, 2006).



Gambar 2.4. Jenis-jenis terumbu karang buatan (*Artificial reef*).

2.2.3. Dasar teori gelombang

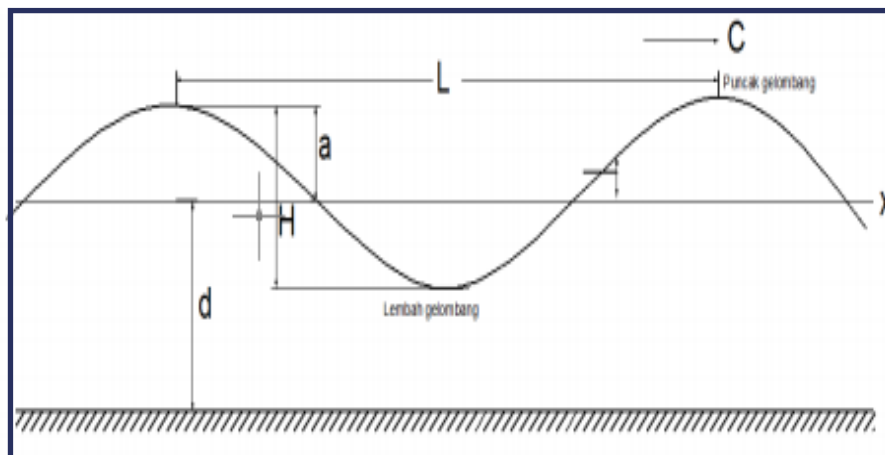
Teori gelombang merupakan sebuah formulasi pendekatan dari gelombang pada kondisi yang sebenarnya, karena pada dasarnya gelombang di alam memiliki bentuk sangat kompleks dan sulit digambarkan secara matematis karena ketidak-linieran, tiga dimensi dan mempunyai bentuk yang random. Teori gelombang mendeskripsikan fenomena alam dengan yang memenuhi suatu asumsi tertentu. Teori gelombang mungkin tidak valid / salah dalam mendeskripsikan fenomena lain yang tidak memenuhi asumsi tersebut (CERC,2007). Asumsi dasar dari teori gelombang adalah sebagai berikut :

- Fluida dianggap homogen dan ideal (tidak bisa ditekan / *infiscid* dan *incompressible*)
- Tekanan permukaan diabaikan
- Gaya coriolis karena rotasi bumi diabaikan
- Tekanan pada permukaan bebas dianggap konstan dan *uniform*
- Gerak partikel berdiri sendiri, tidak saling mengganggu dan bertubrukan selama bergerak.

- Dasar laut dianggap datar, tetap *impermeable*, sehingga kecepatan vertikal di dasar adalah nol
- Amplitudo gelombang relatif kecil disbanding panjang gelombang.

Parameter penting untuk menjelaskan teori gelombang adalah panjang gelombang, tinggi gelombang dan kedalaman air dimana gelombang tersebut menjarlar. Parameter-parameter lainnya seperti pengaruh kecepatan dapat ditentukan dari ketiga parameter pokok diatas. Adapun pengertian dari beberapa parameter tersebut, yaitu :

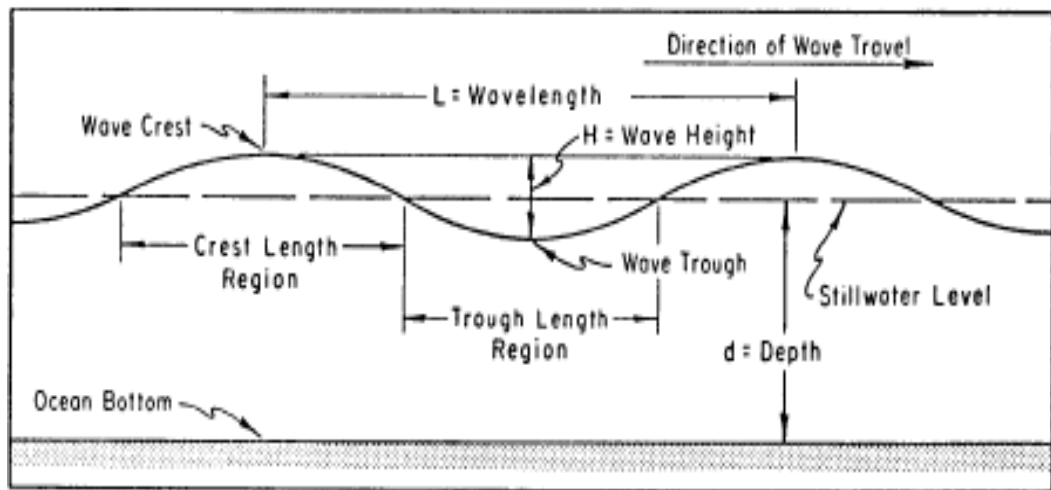
- Tinggi gelombang / *wave height* (H), merupakan jarak vertikal dari lembah gelombang (*trough*) ke puncak gelombang (*crest*).
- Panjang gelombang / *wave length* (L), merupakan jarak horisontal dari puncak gelombang ke puncak berikutnya, bisa juga dikatakan sebagai jarak antara dua lembah gelombang.
- Periode gelombang / *wave period* (T), merupakan waktu yang ditempuh untuk mencapai satu panjang gelombang.
- Amplitudo gelombang / *wave amplitude* (A), diukur dari permukaan air tenang (*still water level* / *SWL*) ke puncak gelombang atau dari *SWL* ke lembah gelombang. Didefinisikan $H/2$
- Kecepatan rambat gelombang / *wave celerity* (C), merupakan perbandingan antara panjang gelombang dan periode gelombang (L/T).
- Angka gelombang / *wave number* (k), didefinisikan sebagai $2\pi / L$



Gambar 2.5. Karakteristik gelombang. (Triatmodjo, 2011).

2.2.3.1. Gelombang regular

Gerakan gelombang secara sederhana dapat direpresentasikan sebagai gelombang yang sinusoidal, *long-crested*, dan *progressive*. Sinusoidal memiliki arti bahwa gelombang memiliki bentuk seperti kurva sinus yang berulang-ulang. *Long-crested* memiliki arti bahwa gelombang merupakan suatu rangkaian puncak gelombang yang panjang dan paralel, memiliki ketinggian dan jarak yang sama di antara dua puncak gelombang (*equidistant*). *Progressive* berarti bahwa gelombang bergerak dengan kecepatan yang konstan dan tanpa perubahan bentuk. Bentuk gelombang sinusoidal sederhana ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.6. Karakteristik Gelombang Sinusoidal. (SPM Vol.1, 1984)

Profil gelombang memiliki bentuk yang sinusoidal, maka persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut :

$$(x,t) = a \sin(kx - \omega t) \quad (1)$$

Untuk gelombang regular tinggi gelombang dalam pencatatannya dapat didekati dengan nilai reratanya sebagai berikut :

$$\bar{H} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i \quad (2)$$

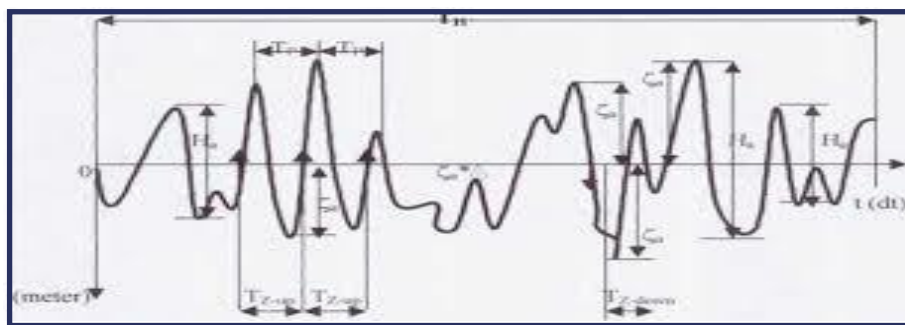
$$\bar{T} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i \quad (3)$$

dengan N adalah jumlah gelombang yang terjadi.

2.2.3.2. Gelombang acak

Secara umum, gelombang di laut sangat kompleks dan sulit untuk digambarkan secara matematis diakibatkan oleh ketidaklinierannya, tiga dimensi dan mempunyai bentuk yang acak, dimana suatu deret gelombang memiliki tinggi dan periode yang berbeda. Menurut Bhattacharyya (1972), gelombang irregular memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

- Permukaan gelombang merupakan permukaan yang tidak beraturan
- Permukaan gelombang yang tidak beraturan selalu berubah dari waktu ke waktu dan bervariasi dari tempat ke tempat, tergantung oleh kecepatan angin.
- Dari interval ke interval, pola atau bentuk gelombang irregular tidak pernah berulang, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6. berikut ini:



Gambar 2.7. Definisi Gelombang Irregular. (Bhattacharyya, 1972)

dimana: γ = elevasi gelombang
 γ_a = amplitude gelombang semu (*apparent wave amplitude*)
 H = tinggi gelombang semu (*apparent wave height*)
 T_r = periode lintas nol semu (*apparent zero crossing period*)
 T_c = periode semu (*apparent period*)

Pengukuran gelombang acak dapat dilakukan dengan dua metode yaitu *zero upcrossing method* dan *zero downcrossing method*. Untuk *zero upcrossing method* hal pertama yang perlu dilakukan adalah menetapkan titik nol, dimana titik nol ini adalah elevasi rerata dari permukaan air berdasarkan fluktuasi muka air pada waktu pencatatan. Pemberian tanda titik perpotongan antara kurva naik dan garis nol, dan titik tersebut ditetapkan sebagai awal dari satu gelombang. Jarak antar kedua titik tersebut adalah periode gelombang pertama (T_1). Sedang

jarak vertikal antara titik tertinggi dan terendah di antara kedua titik tersebut adalah tinggi gelombang pertama (H_1). Selanjutnya dilakukan penelusuran lagi untuk mendapatkan gelombang kedua, ketiga dan seterusnya. Metode *zero downcrossing* mempunyai prosedur yang sama, tetapi titik yang dicatat adalah pertemuan antara kurva turun dan garis nol (Triatmodjo, 2011). Dalam pencatatan gelombang *irreguler* dengan luaran berupa tinggi gelombang signifikan (H_s) atau $H_{1/3}$ dari jumlah gelombang yang tercatat menjadi :

$$H_s = H_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{j=1}^{N/3} H_j \quad (4)$$

$$T_s = T_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{j=1}^{N/3} T_j \quad (5)$$

dimana j adalah data yang diurutkan sesuai tinggi gelombang. Selain H_s adapula gelombang yang biasanya digunakan dalam perancangan yaitu $H_{1/10}$ (tinggi gelombang rata-rata pada satu persepuluh data gelombang tertinggi).

2.2.4. Klasifikasi teori gelombang

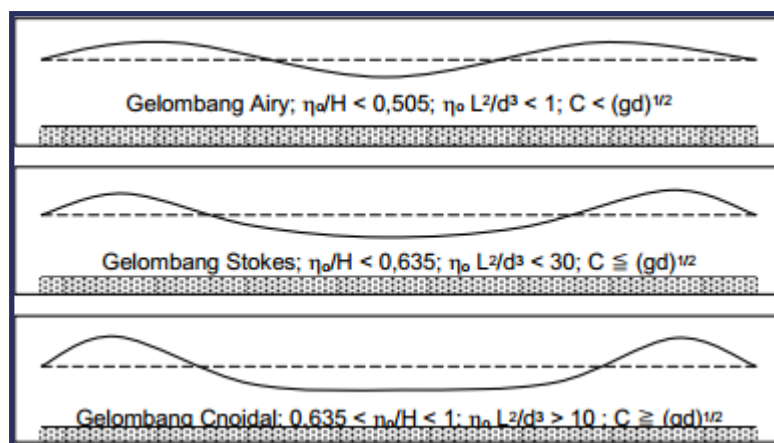
Gelombang di laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam yang tergantung pada gaya pembangkitnya. Gelombang angin adalah gelombang yang dibangkitkan oleh tekanan angin, gelombang pasangsurut yaitu gelombang yang ditimbulkan oleh gaya tarik menarik benda benda angkasa terutama bulan dan matahari. Gelombang tsunami timbul akibat gempa bumi, letusan gunung berapi atau longsor dengan volume tanah yang besar di pantai. Gelombang lainnya adalah gelombang yang dibangkitkan oleh gerakan kapal dan lain lain. Gelombang diklasifikasikan menurut kedalaman airnya kedalam 3 katagori yaitu gelombang air dangkal, air transisi dan air dalam (Triatmodjo, 2011). Batasan ketiga katagori tersebut didasarkan pada ratio antara kedalaman dan panjang gelombang (d/L). Batasan ketiga kategori tersebut selanjutnya ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Batasan gelombang air dangkal, transisi dan dalam. (Triatmodjo, 2011).

Katagori gelombang	d/L	$2\pi d/L$	$\tanh 2\pi d/L$
Air dalam	$> 0,5$	$> \pi$	≈ 1
Air transisi	$0,05 - 0,5$	$0,25 - \pi$	$\tanh 2\pi d/L$
Air dangkal	$< 0,05$	$< 0,25$	$\approx 2\pi d/L$

Sedangkan melalui rasio antara tinggi gelombang dengan panjangnya atau kedalaman airnya, teori gelombang dikembangkan ke dalam 2 macam, yaitu teori gelombang amplitudo kecil dan teori gelombang amplitudo berhingga. Teori gelombang amplitudo kecil yang dikembangkan oleh Airy, berdasarkan pada anggapan bahwa tinggi gelombang sangat kecil terhadap panjangnya atau kedalaman airnya, sedangkan gelombang amplitudo berhingga memperhitungkan besarnya tinggi gelombang terhadap panjang dan kedalaman airnya. Kondisi batas pada permukaan yang diperoleh dari persamaan Bernoulli dengan suku *nonlinier* ($u^2 + v^2$) yang diabaikan / dilinierkan pada teori gelombang amplitudo kecil, tidak lagi bisa diabaikan dalam teori gelombang amplitudo 15 berhingga. Dengan demikian teori gelombang amplitudo berhingga disebut juga teori gelombang *nonlinier*.

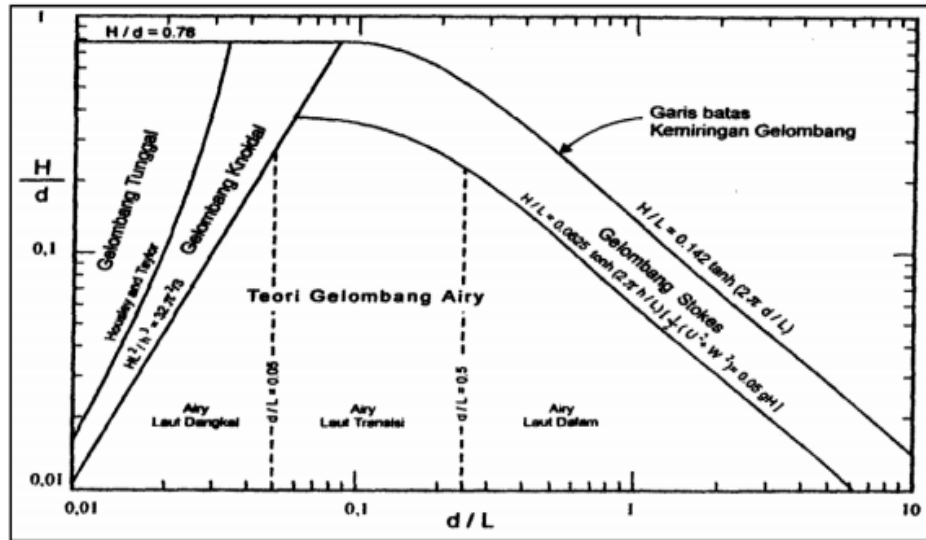
Dikenal beberapa teori gelombang *nonlinier* yaitu teori gelombang *Stokes*, *Cnoidal* dan *Solitary*. Perbedaan bentuk/profil dari gelombanggelombang Airy, Stokes dan Cnoidal dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.8. Profil gelombang Airy, Stokes dan Cnoidal.

(Wilson, 1963)

Teori gelombang Airy diturunkan berdasarkan anggapan bahwa perbandingan antara tinggi gelombang dengan panjangnya atau kedalamannya sangat kecil, sedangkan teori gelombang amplitudo berhingga memperhitungkan besarnya rasio antara tinggi gelombang terhadap panjang dan kedalaman airnya.



Gambar 2.9. Daerah penerapan teori gelombang fungsi H/d dan d/L .
(Triatmodjo, 1999)

Untuk mendapatkan cepat rambat gelombang (C) dan panjang gelombang (L) dapat menggunakan bersamaan berikut :

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} = \frac{gT}{2\pi} \tanh kd \quad (6)$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh kd \quad (7)$$

Dimana k adalah angka gelombang dengan persamaan :

$$k = \frac{2\pi}{L} \quad (8)$$

2.2.5. Gaya gelombang terhadap struktur

Pemecah gelombang tipe *rubble mound* merupakan tumpukan batu yang dipasang di dalam laut yang diharapkan mampu menahan gaya gelombang. Oleh sebab itu batu tersebut dibuat seberat mungkin namun ekonomis dan tidak

mengalami perpindahan apabila mengalami terjangan gelombang sampai dengan tinggi tertentu. Gaya hidrodinamis gelombang pada pemecah gelombang cenderung mengangkat dan memindahkan batuan, seperti tampak pada Gambar 2.10. Oleh (Burcharth,1994), gaya-gaya tersebut dinyatakan sebagai berikut :

- 1) Gaya angkat

$$F_L = C_L \cdot \rho w \cdot A \cdot \bar{V} |V| \quad (9)$$

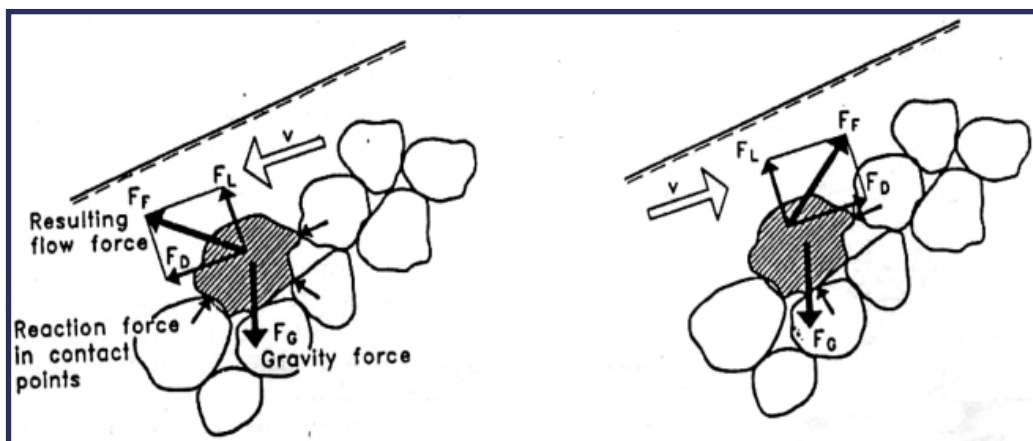
- 2) Gaya seret

$$F_D = C_D \cdot \rho w \cdot A \cdot \bar{V} |V| \quad (10)$$

- 3) Gaya inersia

$$F_I = C_I \cdot \rho w \cdot V \frac{dv}{dt} \quad (11)$$

dimana, ρ_w = rapat masa air, A = luas penampang yang tegak lurus arah kecepatan v . V = volume batuan. C_D , C_L , C_I = koefisien empiris gaya drag, lift dan inersia, nilainya dipengaruhi oleh bentuk batuan, Reynolds Number, Re , dan Keulegan Carpenter number, KC . Sedangkan gaya penahan merupakan gaya gravitasi batuan, F_G . Gaya ini bekerja pada titik kontak antar batuan, sehingga dipengaruhi oleh posisi titik kontak dan arah gaya kontak antar batuan, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.10.

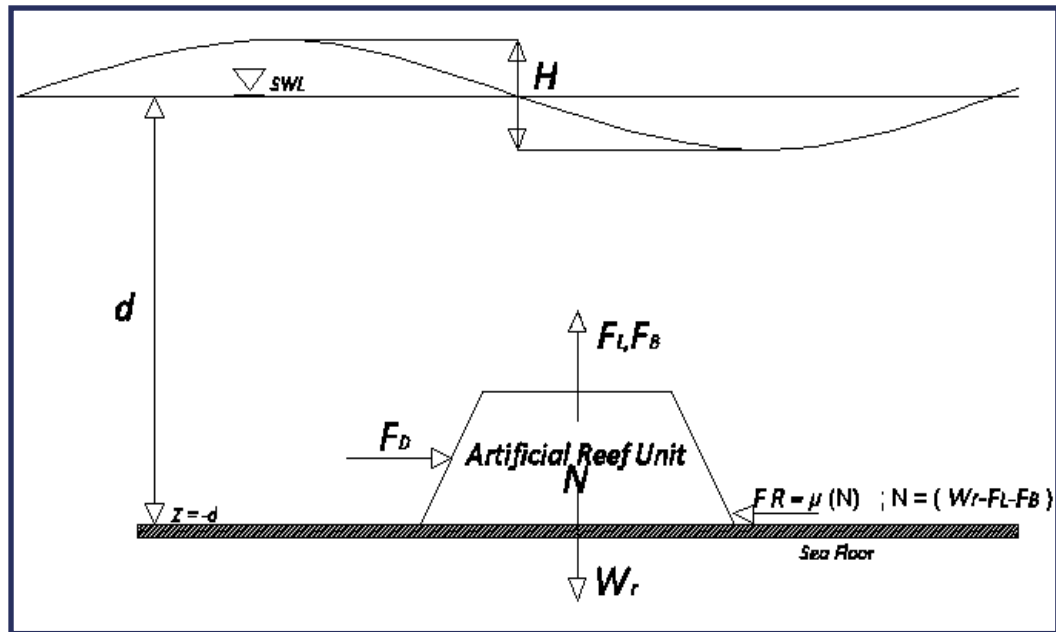


Gambar 2.10. Skema gaya hidrodinamis gelombang

(Burchart,1994)

2.2.6. Analisa stabilitas

Untuk analisa stabilitas, teori gelombang yang digunakan adalah teori gelombang linear. Teori gelombang linear dipilih karena persamaan yang digunakan dianggap sesuai dengan analisa yang dilakukan. Gambar 2.11. menunjukkan definisi dasar teori gelombang yang digunakan dalam analisa stabilitas.



Gambar 2.11. Definisi dasar teori gelombang yang digunakan untuk analisa stabilitas

Dimana :

- H : Tinggi gelombang
- SWL : Permukaan air laut pada kondisi tenang
- d : Kedalaman air ditinjau dari SWL sampai dasar
- z : Jarak dibawah SWL
- N : Gaya normal
- F_R : Gaya penahan
- F_B : Gaya apung
- F_D : Gaya seret
- F_L : Gaya angkat
- μ : Koefisien gesek statis
- W_r : Berat objek

2.2.6.1. Gaya seret

Gaya seret yang terjadi pada struktur dapat dihitung menggunakan persamaan umum :

$$F_D = C_D \cdot \rho \cdot A_P \cdot \frac{U^2}{2} \quad (12)$$

Dimana : F_D = gaya seret
 C_D = koefisien *drag*
 ρ = massa jenis air laut
 A_P = luas permukaan objek per satuan panjang
 U = kecepatan partikel air pada arah horizontal

Dari persamaan diatas, nilai yang belum diketahui adalah C_D . Koefisien *drag* tergantung pada bentuk dan kekasaran permukaan dari objek. Untuk mengetahui nilai koefisien drag dari suatu objek maka harus dilakukan suatu eksperimen. Nilai dari U sendiri dapat diketahui dari persamaan teori gelombang linear (SPM, 1984)

$$U = \frac{\pi H}{T} \left[\frac{\cosh(k(z+d))}{\sinh(kd)} \right] \cos \phi \quad (13)$$

2.2.6.2. Gaya inersia

Gaya inersia terjadi pada struktur akibat gaya oleh perubahan perpindahan massa air yang disebabkan oleh keberadaan objek. Faktor yang mempengaruhi gaya inersia adalah percepatan partikel air. Perubahan perpindahan massa akibat adanya fluktuasi percepatan arus. Gaya inersia dituliskan dalam persamaan berikut (Dean, 1991) :

$$F_I = C_M \cdot \rho \cdot V \left(\frac{\partial U}{\partial t} \right) \quad (14)$$

Dimana : F_I = gaya inersia
 C_M = koefisien inersia
 ρ = massa jenis air laut
 V = volume objek terbenam

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \text{percepatan partikel air pada arah horizontal}$$

Untuk nilai koefisien inersia (C_M) tergantung pada ukuran dan bentuk objek, dan selalu lebih besar atau sama dengan 1. Untuk mendapat nilai koefisien inersia dapat menggunakan persamaan berikut :

$$C_M = 1 + K_m \quad (15)$$

K_m adalah massa jenis yang nilainya dipengaruhi oleh penampang bentuk objek (Dean, 1991). Nilai K_m adalah 1 untuk sebuah objek dengan penampang melingkar.

2.2.6.3. Gesekan permukaan

Asumsi bahwa objek terbenam dalam kondisi diam pada permukaan dasar, dan arah gaya yang bekerja adalah horizontal, maka yang menahan objek untuk berpindah adalah koefisien gesek statis (μ). Nilai koefisien gesek statis tergantung pada 2 material yang saling bersinggungan (Sears, 1987).

$$\begin{aligned} \mu &= 0.4 \text{ untuk gesekan objek pada bidang plastic keras} \\ \mu &= 0.5 \text{ untuk gesekan objek pada bidang bidang berpasir} \end{aligned}$$

2.2.6.4. Gaya apung

Gaya apung (F_B) mengacu pada prinsip Archimedes yang menyatakan apabila sebuah benda, sebagian atau seluruhnya terbenam kedalam air, maka benda tersebut akan mendapat gaya tekan yang mengarah ke atas yang besarnya sama dengan berat air yang dipindahkan oleh bagian benda yang terbenam air tersebut (Sear, 1987). Persamaan dari gaya apung dapat dituliskan sebagai :

$$F_B = (\rho) V \quad (16)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} F_B &= \text{gaya apung} \\ \rho &= \text{massa jenis air laut} \\ V &= \text{volume} \end{aligned}$$

Berat benda tercelup (W_S) merupakan definisi dari berat kering (W_D) dikurangi gaya apung (F_B).

$$W_S = W_D - F_B. \quad (17)$$

2.2.6.5. Gaya angkat

Gaya angkat bekerja dalam arah tegak lurus arah rambatan gelombang atau arus. Gaya angkat ini terjadi akibat adanya konsentrasi bentuk pada bagian struktur terbenam. Persamaan yang diberikan untuk menghitung gaya angkat adalah sebagai berikut :

$$F_L = C_L \cdot \rho \cdot S \cdot \frac{U^2}{2} \quad (18)$$

Dimana :

F_L	= gaya angkat
C_L	= koefisien <i>lift</i>
ρ	= massa jenis air laut
S	= luas perencanaan objek per satuan panjang
U	= kecepatan partikel air pada arah horizontal

2.2.6.6. Gaya penahan

Gaya penahan akibat gesekan memiliki persamaan sebagai berikut :

$$F_R = \mu (N) \quad (19)$$

Dimana :

N	= gaya normal
μ	= koefisien gesek statis

Gaya normal untuk sebuah objek dipengaruhi oleh gaya yang bekerja pada bidang vertikal serta berat objek itu sendiri. Gaya vertikal yang bekerja adalah gaya angkat dan gaya apung. Persamaan gaya penahan terhadap gesekan dapat ditulis kembali sebagai :

$$F_R = \mu (W_D - F_B - F_L) \quad (20)$$

2.2.7. Persamaan Hudson

Model perumusan stabilitas pemecah gelombang tipe *armoured rubble mound* telah dikembangkan oleh (Hudson, 1959). Sesuai dengan kriteria pengujian yaitu tidak terjadi kerusakan (*no-damage*) dan tidak overtopping (*no-overtopping*), hubungan antara gaya gelombang dan berat batuan dapat dirumuskan sebagai:

$$K_D = \frac{\gamma_r H s^3}{W r \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_a} - 1 \right)^3 \cot \theta} \quad (21)$$

Dengan W = berat struktur (Kg), γ_r = berat jenis model (Kg/m³), γ_a = berat jenis air (Kg/m³), H_s = tinggi gelombang signifikan (m), θ = sudut kemiringan struktur, K_D = Koefisien stabilitas.

2.2.8. Hukum pemodelan fisik

Pemodelan fisik dapat dikatakan sebagai percobaan yang dilakukan dengan membuat bentuk model yang sama dengan prototipenya atau menggunakan model yang lebih kecil dengan kesebangunan atau similarits yang cukup memadai.. Pemodelan fisik dilakukan apabila fenomena dari permasalahan yang ada pada prototipe sulit untuk diperoleh karena berbagai keterbatasan. Studi lapangan dapat menyediakan data yang akurat, tetapi biasanya membutuhkan biaya yang tinggi dan memuat variable alam yang dapat menyebabkan kesulitan dalam interpretasi data. Efek-efek fisik antar elemen fluida merupakan hal yang sangat berpengaruh untuk suatu penelitian mengenai karakter fluida. Dengan model fisik, hal tersebut dapat divisualisasikan dan dapat dijamin keakuratannya. Hasil visualisasi tersebut

mungkin merupakan hal yang tidak bisa dihasilkan secara teoritis atau dengan menggunakan perhitungan komputer (Hughes, 1993). Beberapa kekurangan pemodelan fisik :

1. Adanya efek skala; hal ini terjadi karena model dibuat lebih kecil dari prototipenya. Semua variable yang relevan tidak mungkin dimodelkan dalam hubungan yang benar satu sama lain, dengan kata lain efek skala menyederhanakan masalah melalui asumsi pada pemodelan numerik.
2. Efek Laboratorium; hal ini dapat mempengaruhi proses simulasi secara keseluruhan bila tidak dilakukan pendekatan yang sesuai dengan prototipenya. Efek laboratorium biasanya muncul karena ketidakmampuan untuk menghasilkan kondisi pembebanan yang realistic karena adanya pengaruh keterbatasan yang dimiliki model terhadap proses yang disimulasikan.

3. Fungsi gaya dan kondisi batas yang bekerja di alam tidak disertakan dalam pemodelan, sebagai contoh adalah gaya geser angin pada permukaan.

Biaya pelaksanaan pemodelan fisik lebih mahal dibandingkan pemodelan numerik. Pada situasi dimana pemodelan numerik akan lebih dipilih daripada pemodelan fisik.

Konsep dasar pemodelan dengan bantuan skala model adalah membentuk kembali masalah atau fenomena yang ada di prototipe dalam skala yang lebih kecil, sehingga fenomena yang terjadi di model akan sebangun (mirip) dengan yang ada di prototipe. Kesebangunan yang dimaksud adalah berupa sebangun geometrik, sebangun kinematik dan sebangun dinamik (Yuwono, 1996).

Hubungan antara model dan prototipe diturunkan dengan skala, untuk masing-masing parameter mempunyai skala tersendiri dan besarnya tidak sama. Skala dapat didefinisikan sebagai rasio antara nilai yang ada di prototipe dengan nilai parameter tersebut pada model.

2.2.8.1. Sebangun geometrik

Sebangun geometrik dipenuhi apabila bentuk model dan prototipe sebangun. Hal ini berarti bahwa perbandingan semua ukuran panjang antara model dan prototipe harus sebanding, dengan skala model diberi notasi n_L dengan persamaan sebagai berikut (Hughes, 1993).

- Skala panjang

$$n_L = \frac{L_p}{L_m} = \frac{\text{panjang pada prototipe}}{\text{panjang pada model}} \quad (22)$$

- Skala tinggi

$$n_h = \frac{h_p}{h_m} = \frac{\text{tinggi pada prototipe}}{\text{tinggi pada model}} \quad (23)$$

Skala berat untuk armour dihitung dengan merasiokan prototipe terhadap model, dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$W_a = \gamma_a \cdot V \quad (24)$$

Dimana:

W_a	= Berat armor (kg)
γ_a	= Berat jenis armor (kg/m ³)
V	= Volume armor (m ³)

Rapat massa model dapat diketahui dari persamaan :

$$(\gamma_a)_m = (\gamma_a)_p \cdot \frac{(\gamma_w)_m}{(\gamma_w)_p} \quad (25)$$

Dimana:

$(\gamma_a)_m$	=	Rapat massa model (kg/m ³)
$(\gamma_a)_p$	=	Rapat massa prototipe (kg/m ³)
$(\gamma_w)_m$	=	Rapat massa air tawar (kg/m ³)
$(\gamma_w)_p$	=	Rapat massa air laut (kg/m ³)

Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai hubungan skala berat (nW_a) sebagai berikut (Hughes, 1993) :

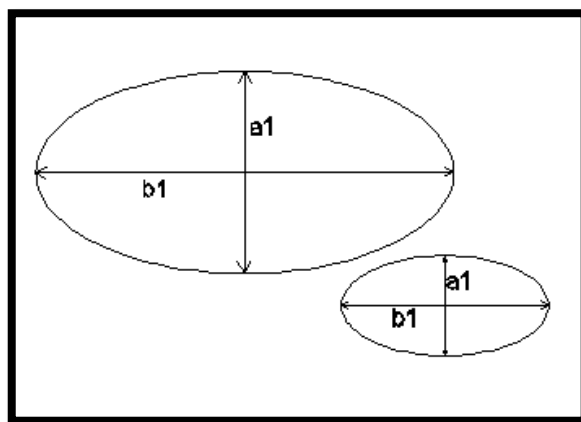
$$nW_a = n_{\gamma a} \cdot n_L^3 \quad (26)$$

dimana nW_a adalah nilai perbandingan rapat massa prototype dengan rapat massa model, dengan demikian berat model dapat dihitung.

$$(W_a)_m = \frac{(W_a)_p}{nW_a} \quad (27)$$

Dimana:

$(W_a)_m$	=	Berat model (kg)
$(W_a)_p$	=	Berat prototipe (kg)
nW_a	=	Angka skala berat armor



Gambar 2.12. Contoh sebangun geometrik.

2.2.8.2. Sebangun kinematik

Sebangun kinematik dipenuhi apabila aliran pada model dan prototipe sebangun. Hal ini berarti bahwa kecepatan aliran di titik-titik yang sama pada model dan prototipe mempunyai arah yang sama dan sebanding. Berdasarkan kesebangunan kinematik dapat diberikan nilai-nilai skala:

- Skala waktu

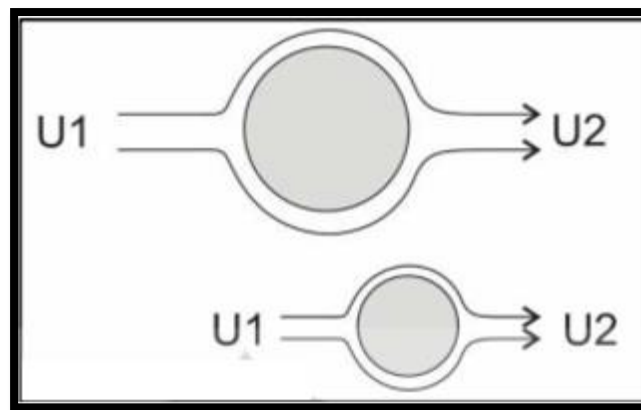
$$n_T = \frac{T_p}{T_m} \quad (28)$$

- Skala kecepatan

$$n_U = \frac{U_p}{U_m} = \frac{n_L}{n_T} \quad (29)$$

- Skala percepatan

$$n_U = \frac{a_p}{a_m} = \frac{n_L}{n_T^2} \quad (30)$$



Gambar 2.13. Contoh sebangun kinematik.

2.2.8.3. Sebangun dinamik

Sebangun dinamik dipenuhi jika model dan prototipe sebangun geometrik dan sebangun kinematik juga perbandingan gaya-gaya yang bersangkutan pada model dan prototipe adalah sama. Gaya-gaya yang dimaksud adalah gaya inersia, gaya tekanan, gaya berat, gaya gesek dan tegangan permukaan. Hughes

(1993), menyatakan bahwa pada bangunan pantai proses fisik yang terjadi dipengaruhi oleh gaya inersia terhadap gaya gravitasi yang kemudian dikenal dengan istilah bilangan Froude. Jika gaya yang bekerja adalah perbandingan gaya inersia terhadap gaya gesek disebut bilangan Reynold, perbandingan gaya inersia terhadap gaya elastis disebut bilangan Cauchy, perbandingan gaya inersia terhadap gaya tegangan permukaan disebut bilangan Weber (Rohani,2013).

- Gaya inersia

$$F_I = M \cdot a = \rho L^3 \cdot \frac{L}{T^2} = \rho U^2 \cdot L^2 \quad (31)$$

- Gaya tekanan

$$F_p = \rho \cdot A = \rho \cdot L^2 \quad (32)$$

- Gaya berat

$$F_W = M \cdot g = \rho L^3 \cdot g \quad (33)$$

2.2.8.4. Bilangan Froude

Bilangan Froude dapat diekspresikan sebagai rasio antara gaya inersia dengan percepatan gravitasi. Apabila gaya inersia dinyatakan dalam $F_I = \rho U^2 \cdot L^2$, sedangkan gaya berat adalah $F_W = \rho L^3 \cdot g$, maka bisa dituliskan sebagai berikut :

$$F_r = \frac{F_I}{F_W} = \frac{\rho U^2 \cdot L^2}{\rho g L^3} = \frac{U^2}{gL} \quad (34)$$

Apabila gaya gravitasi dan gaya inersia sama-sama memegang peranan penting dalam permasalahan, maka rasio kedua gaya tersebut pada model dan prototype harus sama. Kriteria ini disebut kriteria sebangun menurut kondisi bilangan Froude

$$n_{Fr} = \frac{n_u}{(n_L)^{1/2}} \quad (35)$$

$$n_{Fr} = \frac{F_{rp}}{F_{rm}} = 1 \quad (36)$$

Apabila menggunakan model tanpa distorsi, maka skala panjang, skala waktu dan skala berat dapat ditulis sebagai n_L , $\sqrt{n_L}$ dan n_L^3 .

Percobaan model fisik dilakukan dengan *undistorted* model, dimana skala kearah horizontal dan ke arah vertikal sama. Maka skala model harus diturunkan berdasarkan kriteria sebagai berikut :

$$n_H = n_d = n_L \quad (37)$$

Dengan L adalah panjang spesifik, H adalah tinggi gelombang, dan d adalah kedalaman perairan. Skala gravitasi adalah 1, sedangkan untuk skala waktu n_T dapat dituliskan seperti berikut :

$$n_T = \sqrt{n_L} \quad (38)$$

2.2.9. Analisa Parameter

Bilangan tak berdimensi digunakan untuk menyatakan hubungan antar parameter serta dipakai untuk menggambarkan hasil-hasil penelitian. Untuk menentukan bilangan tak berdimensi dapat dilakukan dengan analisis dimensi. Beberapa cara/metode yang umum digunakan untuk analisis dimensi yaitu Metode *Basic Echelon*, Metode *Buckingham*, Metode *Rayleigh*, Metode *Stepwise* dan Metode *Langhaar*. Untuk penelitian ini digunakan metode *Langhaar* karena variabel yang berpengaruh relatif sedikit serta metode ini tersusun sistemik. Metode *Langhaar* menjelaskan fenomena model hidraulik dengan n parameter Pi dengan $i = 1, 2, 3, \dots, n$. Jika parameter tersusun oleh m elemen pokok, maka produk bilangan tak berdimensi dapat diturunkan sejumlah (n-m). Untuk keperluan teknik hidraulik biasanya ada 3 elemen pokok yaitu Massa (*M*), Panjang (*L*) dan Waktu (*T*). Bilangan tak berdimensi dapat dinyatakan :

$$\pi_j = P_1^{k_1} P_2^{k_2} P_3^{k_3} \dots \dots \dots P_n^{k_n} \quad (39)$$

Dimana π_j = produk bilangan tak berdimensi, dengan $j = 1, 2, 3, \dots, n$. Jika P_i mempunyai dimensi $M^{\alpha_i} L^{\beta_i} T^{\tau_i}$, maka dapat ditulis :

$$\pi_j = (M^{\alpha_1} L^{\beta_1} T^{\tau_1})^{k_1} \cdot (M^{\alpha_2} L^{\beta_2} T^{\tau_2})^{k_2} \dots \dots \dots (M^{\alpha_n} L^{\beta_n} T^{\tau_n})^{k_n}. \quad (40)$$

Aj merupakan bilangan tak berdimensi jika :

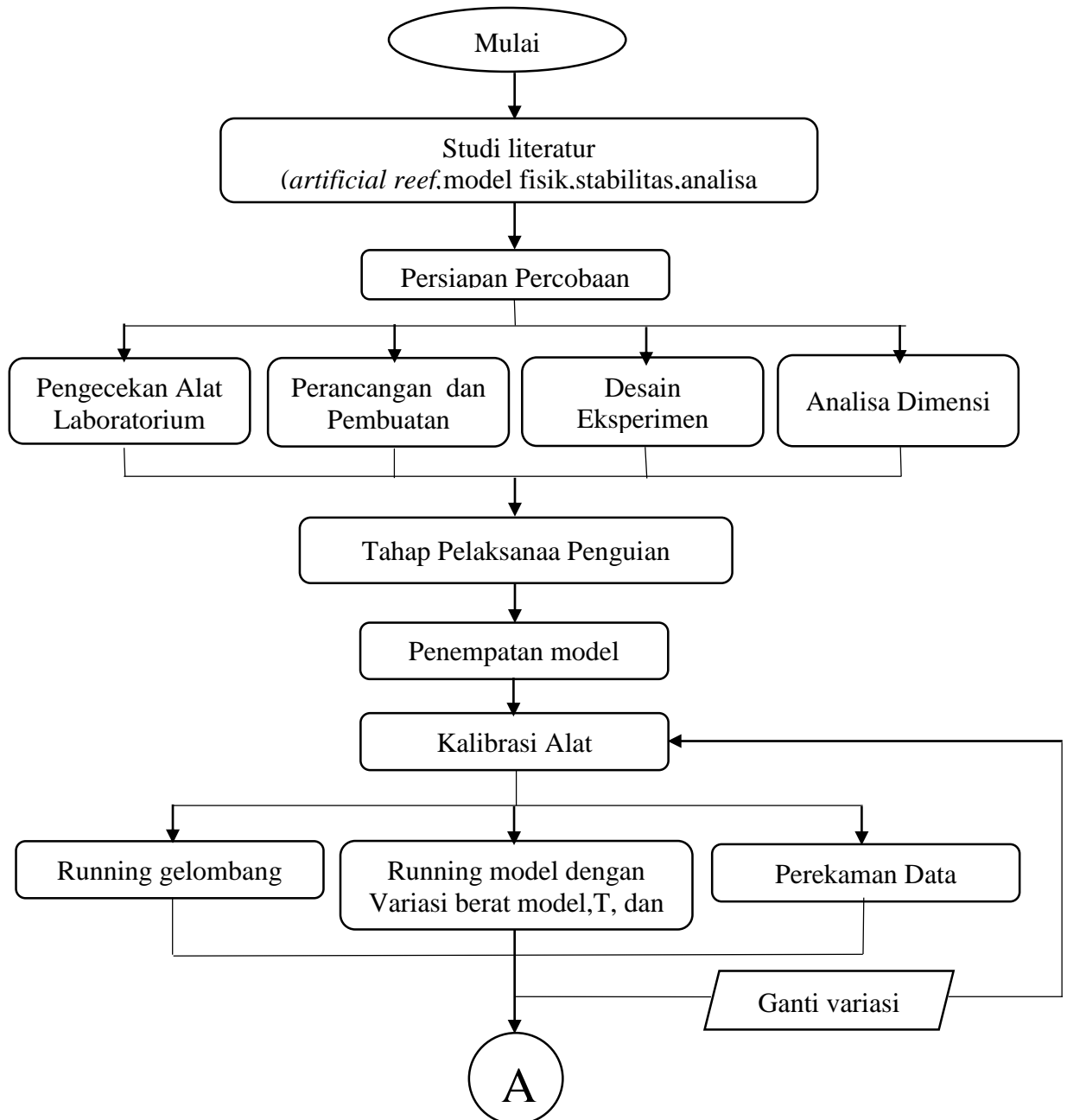
$$\begin{aligned} \alpha_1 k_1 + \alpha_2 k_2 + \dots + \alpha_n k_n &= 0 \\ \beta_1 k_1 + \beta_2 k_2 + \dots + \beta_n k_n &= 0 \\ \tau_1 k_1 + \tau_2 k_2 + \dots + \tau_n k_n &= 0 \end{aligned}$$

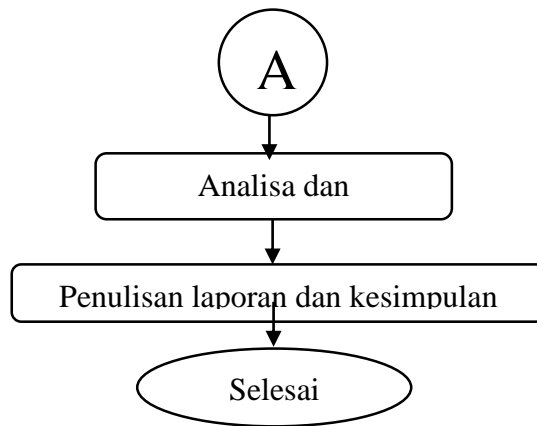
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan dalam penelitian kali ini digambarkan dalam diagram alir sebagai berikut :





Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.

3.2. Penjelasan diagram alir

Dari diagram alir penelitian, akan dijelaskan langkah-langkah yang akan digunakan dalam penelitian kali ini, penjelasannya sebagai berikut :

3.2.1. Studi literatur

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah studi literatur, dimana pada tahap ini berisi tentang kegiatan mencari, mengkaji dan mengumpulkan materi terkait dengan penelitian yang akan dilakukan. Literatur yang digunakan anatar lain jurnal, tugas akhir, buku, thesis dan juga internet.

3.2.2. Persiapan percobaan

Dalam persiapan percobaan ini perlu diketahui bahwa jenis penelitian yang digunakan adalah eksperimental, dimana kondisi tersebut dibuat dan diatur oleh peneliti dengan mengacu pada literature-literatur yang berkaitan dengan penelitian tersebut, serta adanya control dengan tujuan mengetahui ada tidaknya hubungan sebab akibat serta berapa besar hubungan sebab akibat tersebut dengan cara memberikan perlakuan-perlakuan tertentu pada beberapa eksperimental. Sumber data penilitian ini menggunakan dua sumber yaitu :

1. Data primer : data yang diperoleh langsung dari simulasi model fisik di laboratorium.
2. Data sekunder : data yang diperoleh dari literature dan hasil penelitian yang sudah ada, baik yang dilakukan di laboratorium maupun dilakukan di tempat lain yang berkaitan dengan penelitian terumbu buatan.

Persiapan percobaan yang perlu dilakukan pada penelitian kali ini akan dijelaskan sebagai berikut :

3.2.2.1. Pengecekan alat laboratorium

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut, Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS. Untuk jangka waktu penelitian ini memakan waktu 3 minggu. Sebelum melakukan penelitian sangatlah penting untuk mengetahui fasilitas laboratorium yang akan digunakan. Adapun peralatan yang ada pada laboratorium sebagai berikut :

- Kolam gelombang

Ukuran kolam gelombang yang digunakan dalam penelitian kali ini mempunyai panjang total 20,10 m, lebar 2,00 m, tinggi kolam 1,50 m. Dengan pembangkit gelombang tipe plunger, tinggi gelombang maksimum yang dapat dibangkitkan adalah 0,30 m, periode berkisar 0,5 – 3,0 detik untuk gelombang regular sedangkan untuk gelombang irregular menggunakan spektrum gelombang Jhonswap, Piershon-Moskowitz, ISSC dan ITTC.



Gambar 3.2. Kolam gelombang pengujian.

- Pembangkit gelombang

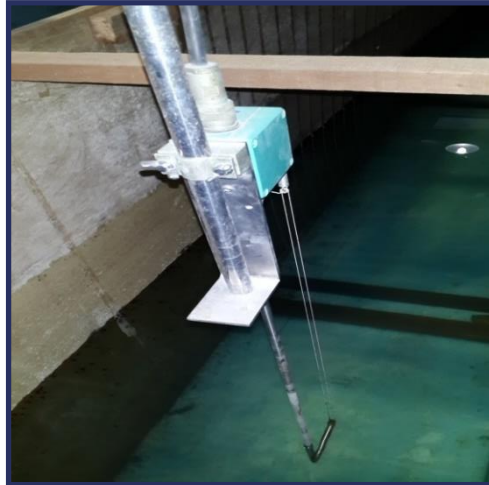
Pembangkit gelombang terdiri atas 4 unit pengapung dan penggerak gelombang, sebuah kontrol tekanan dan sebuah komputer khusus dengan sinyal listrik. Dengan pembangkit gelombang tipe plunger, tinggi gelombang maksimum yang dapat dibangkitkan adalah 0,30 m, periode berkisar 0,5 – 3,0 detik untuk gelombang regular. Masing-masing

pengapung digerakkan ke atas dan ke bawah oleh actuator, yang terdiri dari *linier slide assembly* dan AC servo motor. Semua gerakan pengapung diserahkan dengan kontrol sistem komputer.



Gambar 3.3. Pembangkit Gelombang.

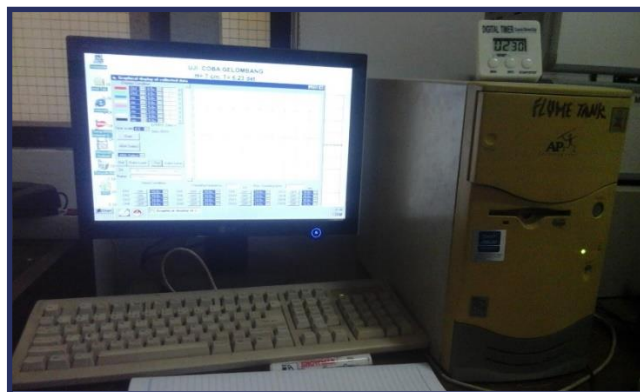
- Wave absorber
Berfungsi sebagai peredam gelombang agar gelombang yang telah dibangkitkan pada kolam uji tidak terpantul. Terbuat dari stainless steel dan bahan kimia dengan panjang 3m. Wave absorber ini diletakkan pada ujung kolam gelombang.
- Wave Probe
Wave probe merupakan alat pengukur tinggi gelombang, apabila alat tersebut tercelup air maka elektroda tersebut mengukur konduktivitas air. Konduktivitas tersebut berubah secara proporsional sesuai dengan variasi perubahan elevasi muka air. Dalam penelitian ini wave probe yang digunakan berjumlah 2 yang dipasang di depan dan di belakang model uji.



Gambar 3.4. Wave probe yang digunakan untuk pengujian.

- Sistem komputer

Laboratorium *wave flume* dilengkapi dengan *interface ADC (Analog Digital Converter)* dengan spesifikasi CPU Pentium 266 MHz, RAM 64 Mb, CRT 14 Inch, *Mouse* dan *keyboard*, sistem Windows 95. Alat ini berfungsi sebagai perubah data analog dari *wave probe* menjadi data digital yang diproses dengan menggunakan perangkat lunak. System computer ini berfungsi sebagai alat perekam data pengujian yang nantinya hasil percobaan akan diketahui secara digital.



Gambar 3.5. Komputer Kontrol.

- Alat kalibrasi

Agar data yang diperoleh dalam sistem komputer dapat akurat pada saat pemodelan fisik, maka terlebih dahulu dilakukan kalibrasi pada alat pengukur gelombang yang dilakukan dengan cara mencatat titik nol dari *wave probe* dan merekam kalibrasinya dengan menaikkan serta menurunkan *wave probe* sejauh 15 cm dengan pencatatan tiap 5 cm dari

posisi titik nolnya. Setelah pencatatan selesai *wave probe* harus dikembalikan pada posisi titik nol. Kalibrasi dimaksudkan untuk mencari hubungan antar perubahan tinggi elektroda yang tercelup air dengan perubahan voltase yang tercatat dalam alat perekam.

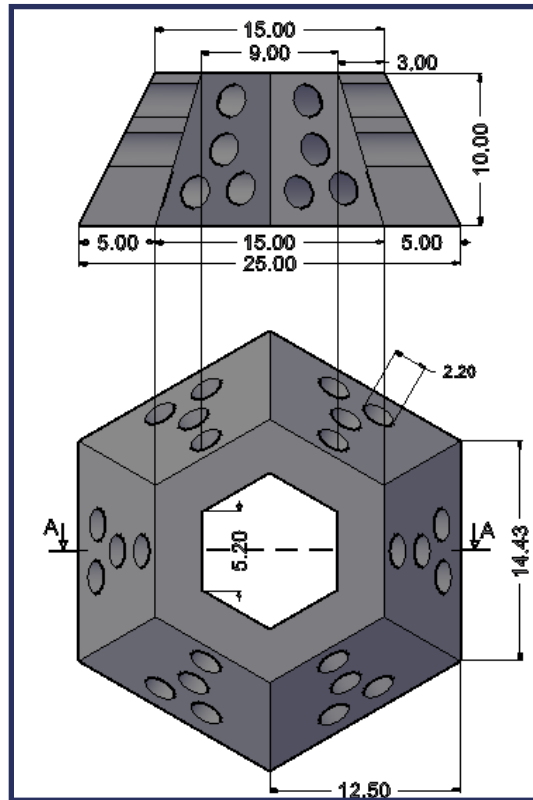


Gambar 3.6. Alat untuk kalibrasi probe.

Pembangkit gelombang yang berfungsi sebagai alat untuk membangkitkan gelombang juga harus dikalibrasi untuk mendapatkan bangkitan data gelombang sesuai data yang diinginkan pada saat pengujian, agar hasil pengujian mempunyai nilai akurasi yang tinggi. Kalibrasi dilakukan dengan cara memasukkan input ketinggian gelombang pada komputer kendali selanjutnya mengukur data gelombang yang telah dibangkitkan apakah sudah sesuai dengan data input yang diharapkan.

3.2.2.2. Perancangan dan pembuatan Model Terumbu Buatan

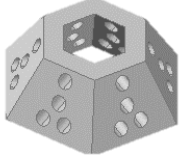
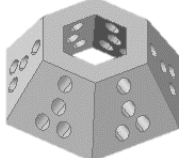
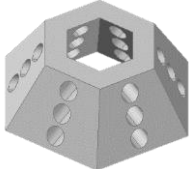
Sebelum dilakukan penelitian, terlebih dahulu dilakukan perancangan model berdasarkan variabel yang akan diteliti. Setelah desain model terumbu buatan sudah ditetapkan, selanjutnya dilakukan proses pembuatan model. Perancangan model dan parameter yang digunakan dalam pengujian kali ini adalah bentuk hexagonal dengan spesifikasi sebagai berikut :



Gambar 3.7. Desain model terumbu buatan hexagonal potongan A-A

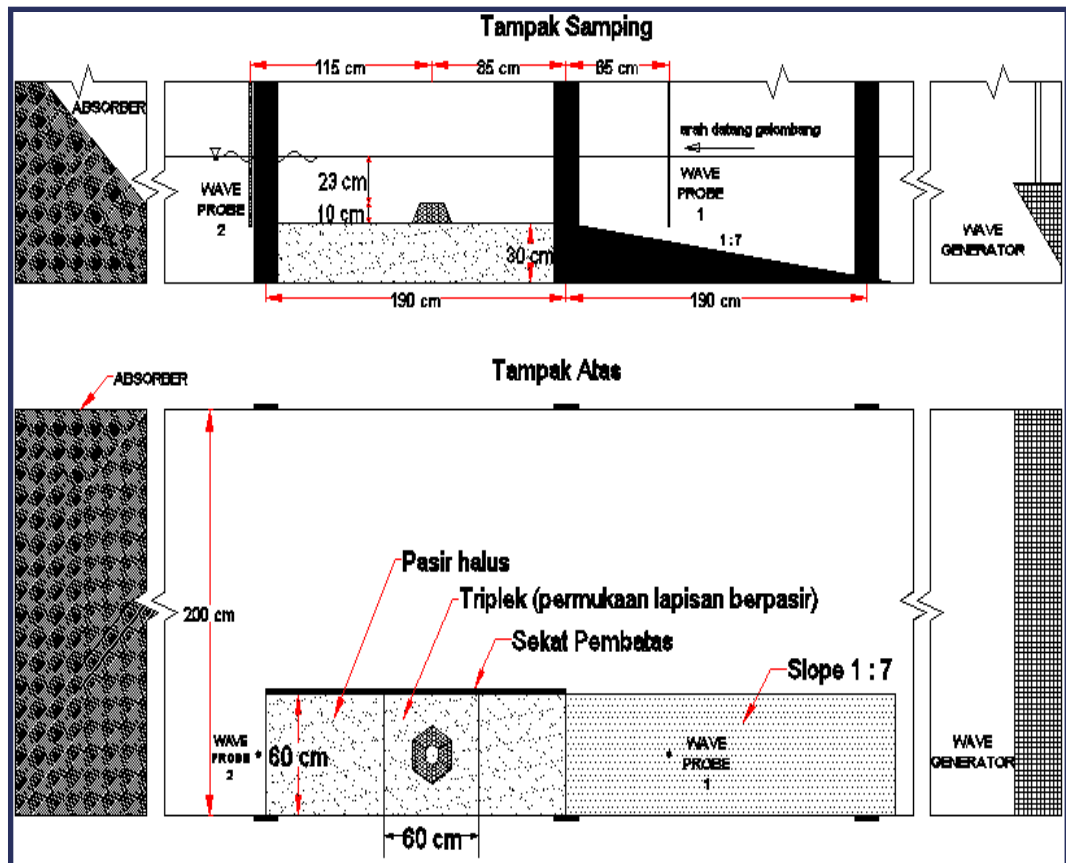
Model terumbu buatan yang di uji terbuat dari beton dengan campuran semen, pasir halus dan gabus (*sterofoam*). Penggunaan gabus dalam campuran tersebut bertujuan untuk memperingan berat model. Cetakan terbuat dari kertas karton dengan tebal 3 mm yang disusun menyerupai bentuk yang telah di desain, dan untuk membuat struktur berlubang digunakan pipa PVC berdiameter 2.2 cm yang sisipkan pada masing- masing sisi cetakan. Model uji divariasikan menjadi 3 yaitu model Hexa1, Hexa2 dan Hexa3. Volume model (V)_m untuk model Hexa1 dan Hexa2 sama yaitu 1888,2066 cm³ atau 0.0018882066 m³, sedangkan volume untuk model Hexa3 adalah 0.00278199 m³. Untuk memperoleh variasi berat model yang berbeda maka campuran bahan yang digunakan komposisinya dibedakan. Perbandingan semen, pasir dan strerofoam model Hexa1 menggunakan perbandingan 1 : 1 : 2.5, model Hexa2 1 : 1 : 2, dan model Hexa3 1.5 : 1 : 1. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2. Volume, berat dan berat jenis masing-masing model uji.

Model	Model Uji	Volume (V) _m (m ³)	Berat (W_r) _m (Kg)	Berat Jenis (γ_r) (Kg/m ³)
Hexa1		0.00188820	2.6	1376.97
Hexa2		0.00188820	3	1588.81
Hexa3		0.00278199	4.6	1653.49

3.2.2.3. Desain Eksperimen model

Sebelum melakukan penelitian terlebih dahulu mendesain penempatan model uji di kolam gelombang, seting pengujian dapat dilihat dalam Gambar 3.8



Gambar 3.8. Tampak samping dan tampak atas seting model di kolam uji.

Pada area pengujian diberi sekat pembatas menggunakan tripleks sepanjang area uji dengan lebar pembatas 60 cm. Kemiringan slope dasar dirancang dengan perbandingan 1:7, ketinggian dasar dari model 30 cm. Kedalaman air adalah 33 cm dengan tinggi model 10 cm sehingga tinggi air diatas model 23 cm. Permukaan dasar pengujian adalah pasir halus, meskipun demikian pada saat pengujian model akan diletakkan diatas triplek yang permukaannya berpasir dengan ukuran 60 x 60 cm. Penggunaan triplek berpasir sebagai dasar model uji bertujuan untuk menjaga model tidak ambles kedalam pasir karena efek gerusan (*scouring*) yang terjadi pada saat gelombang dibangkitkan. Untuk perletakan probe 1 berjarak 150 cm dihitung dari titik tengah model, letak probe 1 terbatas (ditengah slope) karena terhalang oleh tutup baja dari pembangkit angin, letak probe 2 berjarak 115 cm dari titik tengah model.

Variasi yang digunakan dalam eksperimen ini ditampilkan dalam tabel dibawah ini:

Tabel 3. Variasi percobaan.

TIPE GELOMBANG	BERAT MODEL	PERIODE	TINGGI GELOMBANG
	Kg	detik	m
REGULER	2,6	1,5 ; 1,3 ; 1,1	0.11
			0.13
			0.15
			0.17
			0.2
	3		0.11
			0.13
			0.15
			0.17
			0.2
	4,6		0.11
			0.13
			0.15
			0.17
			0.2

Dengan melihat tabel variasi percobaan diatas, maka jumlah variasi pengujian yang dilakukan sebanyak 45 kali dengan waktu yang dibutuhkan untuk 1 variasi adalah 150 detik.

Dalam hal penentuan besarnya skala model dilakukan dengan pertimbangan sebagai berikut :

1. Untuk menghasilkan gelombang dengan periode dan tinggi gelombang yang cukup agar secara kualitatif dapat mencerminkan keadaan prototype secara baik.
2. Fasilitas dan material yang tersedia untuk pengujian model.
3. Ketersediaan air yang digunakan di laboratorium
4. Besarnya biaya yang dikeluarkan

Dalam percobaan model fisik, kesebangunan dinamik antara model dengan prototipe banyak dipengaruhi oleh gravitasi, maka kriteria yang dipakai adalah bilangan Froude (Fr) (Hughes,1993) :

$$F_r = \frac{U^2}{gL} = \frac{U}{\sqrt{g L}}$$

Dengan Fr adalah bilangan Froude , U adalah kecepatan (m/s), g adalah percepatan gravitasi (m/s^2) dan L adalah panjang spesifik (m).

Nilai skala didapat dari perbandingan antara prototipe dan model, untuk skala panjang dapat dituliskan sebagai berikut :

$$n_L = \frac{L_p}{L_m} = \frac{2.5}{0.25} = 10$$

Dengan demikian dapat dikatakan bahwa skala yang digunakan adalah 1:10, dari keserupaan Froude jenis penskalaan lainnya yaitu penskalaan waktu dan penskalaan berat. Untuk lebih jelasnya ditunjukkan pada Table 4. berikut :

Tabel 4. Tabel parameter skala model.

No	Besaran	Notasi	Satuan	Prototipe	Model	Skala
1	panjang spesifik	L	m	2.5	0.25	10
2	kedalaman air	d	m	3.3	0.33	10
3	tinggi gelombang	H	m	1.861	0.1861	10
4	periode gelombang	T	s	5.163999	1.633	$\sqrt{10}$
5	berat	W	Kg	3000	3	10^3

3.2.2.4. Analisa Dimensi

Dengan menggunakan metode Langhaar, maka parameter dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian yaitu :

1. Parameter tak bebas (*dependent parameter*) : K_D , G_S
2. Parameter yang diubah-ubah selama percobaan : T, θ , d, H, W
3. Parameter lain : g, γ_r

Penentuan α , β , τ , dan π dibuat secara tabulasi pada Tabel 5. dan Tabel 6.

Tabel 5. Penentuan nilai α , β dan τ .

	KD	θ	Gs	T	d	H	W	g	γ	
M	0	0	0	0	0	0	1	0	1	α_i
L	0	0	0	0	1	1	0	1	-3	β_i
T	0	0	0	1	0	0	0	-2	0	τ_i
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	Ki

$$\alpha_1 k_1 + \alpha_2 k_2 + \alpha_3 k_3 + \alpha_4 k_4 + \alpha_5 k_5 + \alpha_6 k_6 + \alpha_7 k_7 + \alpha_8 k_8 + \alpha_9 k_9 = 0$$

$$k_7 + k_9 = 0$$

$$\beta_1 k_1 + \beta_2 k_2 + \beta_3 k_3 + \beta_4 k_4 + \beta_5 k_5 + \beta_6 k_6 + \beta_7 k_7 + \beta_8 k_8 + \beta_9 k_9 = 0$$

$$k_5 + k_6 + k_8 - 3k_9 = 0$$

$$\tau_1 k_1 + \tau_2 k_2 + \tau_3 k_3 + \tau_4 k_4 + \tau_5 k_5 + \tau_6 k_6 + \tau_7 k_7 + \tau_8 k_8 + \tau_9 k_9 = 0$$

$$k_4 - 2k_8 = 0$$

Eliminasi persamaan :

$$k_8 = 0.5k_4$$

$$k_9 = -k_7$$

$$k_5 = -k_6 - 0.5k_4 - 3k_7$$

$$k_6 = -k_5 - 0.5k_4 - 3k_7$$

Tabel 6. Penentuan nilai π .

GROUP PARAMETER	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
	KD	θ	Gs	T	d	H	W	g	γ
π_1	1								
π_2		1							
π_3			1						
π_4								2	
π_5				-0.5		-1	-3		
π_6				-0.5	-1		-3		
π_7									-1
π_8				0.5					
π_9							-1		

Sehingga diperoleh nilai :

$$\pi_1 = K_D$$

$$\pi_2 = \theta$$

$$\pi_3 = G_s = \gamma_r / \gamma_a$$

$$\pi_4 = g^2$$

$$\pi_5 = \frac{1}{T^{1/2} H W^3}$$

$$\pi_6 = \frac{1}{T^{1/2} d W^3}$$

$$\pi_7 = \frac{1}{\gamma_r}$$

$$\pi_8 = \sqrt{T}$$

$$\pi_9 = \frac{1}{W}$$

$$\Phi = f \left(K_D ; \theta ; G_s ; g^2 ; \frac{1}{T^{1/2} H W^3} ; \frac{1}{T^{1/2} d W^3} ; \frac{1}{\gamma_r} ; \sqrt{T} ; \frac{1}{W} \right)$$

atau dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$K_D = f \left(\theta ; G_s ; g^2 ; \frac{1}{T^{1/2} H W^3} ; \frac{1}{T^{1/2} d W^3} ; \frac{1}{\gamma_r} ; \sqrt{T} ; \frac{1}{W} \right)$$

$$K_D = f \left(\theta ; G_s ; g^2 ; \frac{1}{T^{1/2} H W^3} ; \frac{-T^{1/2} d W^3}{1} ; \frac{1}{\gamma_r} ; \sqrt{T} ; \frac{1}{W} \right)$$

$$K_D = f \left(\theta ; \frac{\gamma_r}{\gamma_a} ; \frac{g^2}{T^2} ; \frac{-d}{H} \frac{-W}{\gamma_r} \right)$$

$$K_D = f \left(\theta ; \frac{\gamma_r}{\gamma_a} - 1 ; \frac{g^2}{T^2} ; \frac{-d}{H} \frac{-W}{\gamma_r} \right)$$

Dimana $\frac{\gamma_r}{\gamma_a} - 1 = \frac{\gamma_r - \gamma_a}{\gamma_a} = \Delta = \text{berat jenis relatif}$

$$K_D = f \left(\theta ; \Delta ; \frac{g^2}{T^2} ; \frac{-d}{H} \left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{1/3} \right)$$

Dimana $\left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{1/3} = D_n = \text{Diameter nominal}$

$$K_D = f \left(\theta ; \Delta ; \frac{g^2}{T^2} ; \frac{-d}{H} D_n \right)$$

$$\left(\frac{g^2}{T^2} \right) = V^2 = \text{Kecepatan}$$

Kondisi stabilitas adalah dimana :

$$\frac{F_G}{F_D + F_L} = \frac{g (\rho - \rho_w) D_n}{\rho_w V^2}$$

$$\frac{F_G}{F_D + F_L} = \frac{g}{\frac{g^2}{T^2}} \Delta \cdot D_n \frac{-d}{H}$$

$$\frac{T^2}{g} \Delta \cdot D_n \frac{-d}{H}$$

$$\begin{aligned}
& -gT^2 \Delta \cdot D_n \frac{-dH}{H^2} \\
& \frac{-gT^2}{H} \cdot \frac{\Delta \cdot D_n}{H} - d \cdot H \\
& \frac{H}{gT^2}, \frac{-d}{H}, -\frac{H}{\Delta \cdot D_n}, \\
& \frac{H}{\Delta \cdot D_n}, \frac{H}{gT^2}, \frac{d}{H}
\end{aligned}$$

Dimana $\frac{H}{\Delta \cdot D_n}$ adalah bilangan stabilitas, $\frac{H}{gT^2}$ adalah kecuraman gelombang, dan $\frac{d}{H}$ adalah kedalaman air relatif. Pada pengujian stabilitas ini, terbatas meninjau kedalaman kedalaman air relatif, tinggi gelombang dan berat model. Sehingga parameter pada penelitian ini adalah :

$$f(K_D) = \frac{H}{\Delta \cdot D_n}, \frac{H}{gT^2}, \frac{d}{H}$$

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Pendahuluan

Uji stabilitas dalam penelitian kali ini dilakukan dengan mengamati perilaku model terumbu buatan bentuk Hexagonal akibat terkena gaya gelombang. Pengujian menggunakan 3 model yaitu model Hexa1, Hexa2 dan Hexa3. Masing-masing model memiliki berat yang berbeda, untuk model Hexa1 beratnya 2.6 Kg, model Hexa2 beratnya 3 Kg dan model Hexa3 beratnya 4.6 Kg. Input parameter tinggi gelombang (H) yang digunakan sebesar 0.11 ; 0.13 ; 0.15 ; 0.17 dan 0.2 m serta periode gelombang (T) sebesar 1.1 ; 1.3 dan 1.5 detik. Gelombang yang digunakan adalah gelombang regular dengan rentan waktu pembangkitan gelombang selama 150 detik tiap variasi.

Gaya gelombang yang bekerja terhadap model uji menyebabkan terjadinya perlawanan antara gaya gelombang yang merupakan resultan dari gaya seret dan gaya angkat dengan gaya penahan model berupa gaya berat dan gaya gesek permukaan dasar. Jika gaya gelombang lebih besar dari gaya penahan yang bekerja pada model maka model tidak stabil. Sebaliknya jika gaya gelombang lebih kecil dari gaya penahan maka model stabil. Pada pengujian kali ini model dianggap tidak stabil apabila saat model diberi gaya gelombang model bergeser atau berpindah dari posisi awal penempatan model. Pengamatan pengujian dilakukan secara visual dengan cara perekaman maupun foto untuk mengetahui respon model terhadap gaya gelombang yang bekerja. Analisa gaya gelombang juga dilakukan untuk mengetahui apakah hasil pengamatan visual sesuai atau tidak dengan perhitungan gaya gelombang. Parameter dalam pengujian stabilitas ini adalah koefisien stabilitas (K_D) sebagai variabel respon, bilangan stabilitas ($H/\Delta D_n$), kecuraman gelombang (H_i/gT^2) serta kedalaman air relatif (d/H_i) sebagai variabel prediktor.

Tabel 7. Parameter yang digunakan dalam pengujian .

Respon	Prediktor		
Y	X1	X2	X3
K_D	$H_i/\Delta D_n$	H_i/gT^2	d/H_i

4.2. Analisa Data

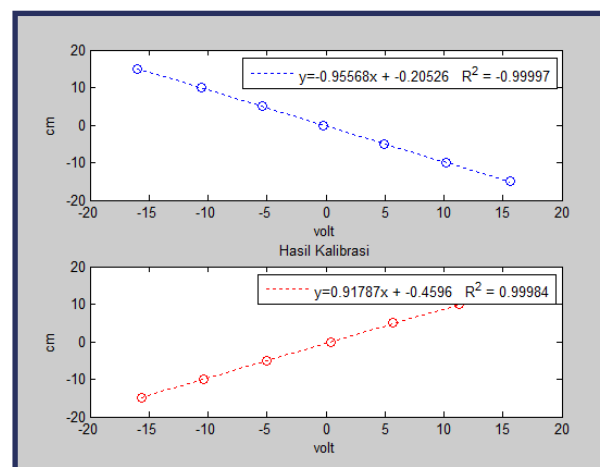
Dari percobaan yang telah dilakukan maka perlu dilakukan analisa data untuk mengetahui apakah data yang diperoleh dapat digunakan sehingga memenuhi kriteria untuk dilakukan perhitungan lebih lanjut.

4.2.1. Kalibrasi probe

Kalibrasi bertujuan untuk mendapatkan akurasi yang tinggi setiap pembacaan *wave probe*, dilakukan dengan cara menyesuaikan bacaan *wave probe* dengan besaran yang diukur. Mulai dengan mencatat *zero point* (titik referensi awal berdasarkan muka air tenang) kemudian probe dinaik turunkan sejauh 5 cm dari posisi *zero point*. Pembacaan dilakukan sampai perubahan sejauh 15 cm diatas dan dibawah muka air. Untuk hasil dari kalibrasi probe dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 8. Data dari probe 1 dan probe 2

Jarak pengukuran	ETA 1	ETA 2
	(cm)	(cm)
15	15.5855	-15.648
10	10.15	-10.3263
5	4.9488	-5.0595
0	-0.2309	0.3791
-5	-5.4215	5.6919
-10	-10.5501	11.2733
-15	-15.9853	17.1943



Gambar 4.1. Hasil kalibrasi dengan menggunakan perangkat lunak *AnaWare*

4.2.2. Pengolahan data hasil eksperimen

Data pengujian terekam oleh probe depan dan probe belakang dengan perekaman data menggunakan frekuensi 50 Hz, yang artinya tiap 1 detik sistem perekam merekam fluktuasi air sebanyak 50 data. Eksperimen berlangsung selama 150 detik untuk 1 variasi, sehingga data yang tercatat oleh sistem komputer berjumlah 7500 data. Contoh hasil pembacaan gelombang dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 9. Rekaman data probe 1 dan probe 2

Data	t	Probe 1	Probe 2
1	0.000	0.9751	1.0208
2	0.020	1.1606	1.0530
3	0.040	1.3151	1.0530
4	0.060	1.4696	1.0852
...
...
...
7498	149.920	-1.4975	2.7921
7499	149.940	-1.9302	2.5989
7500	149.960	-2.2701	2.4056

Data gelombang yang terekam oleh sistem komputer dikeluarkan dalam format *Time History* (TMH), data tersebut harus dirubah formatnya agar bisa terbaca dalam perangkat lunak Excel. Untuk merubah data tersebut diperlukan bantuan perangkat lunak Revana. Setelah semua data berformat Excel maka dilakukan proses analisa data untuk mendapatkan data tinggi gelombang (Hi) dan periode gelombang (T) dengan menggunakan perangkat lunak AnaWare. Data karakteristik gelombang keluaran AnaWare dapat dilihat selengkapnya pada Lampiran 3. Olahan data gelombang yang dipakai dalam pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 10 sampai Tabel 12.

Tabel 10. Nilai H input dan H output.model Hexa1

Uji Hexa1			
H.in	H.out	T.in	T.out
meter		detik	
0.11	0.108	1.1	2.037
0.13	0.124	1.1	2.085
0.15	0.141	1.1	1.910
0.17	0.150	1.1	1.718
0.2	0.179	1.1	1.851
0.11	0.109	1.3	2.234
0.13	0.128	1.3	2.152
0.15	0.141	1.3	2.084
0.17	0.148	1.3	1.703
0.2	0.179	1.3	1.653
0.11	0.095	1.5	1.922
0.13	0.113	1.5	1.872
0.15	0.132	1.5	1.752
0.17	0.150	1.5	1.627
0.2	0.178	1.5	1.694

Tabel 11. Nilai H input dan H output model Hexa2

Uji Hexa2			
H.in	H.out	T.in	T.out
meter		detik	
0.11	0.108	1.1	2.062
0.13	0.125	1.1	2.074
0.15	0.142	1.1	1.956
0.17	0.150	1.1	1.685
0.2	0.176	1.1	1.715
0.11	0.109	1.3	2.137
0.13	0.128	1.3	2.048
0.15	0.142	1.3	2.158
0.17	0.150	1.3	1.772
0.2	0.171	1.3	1.630
0.11	0.095	1.5	1.944
0.13	0.114	1.5	1.900
0.15	0.131	1.5	1.856
0.17	0.151	1.5	1.633
0.2	0.181	1.5	1.665

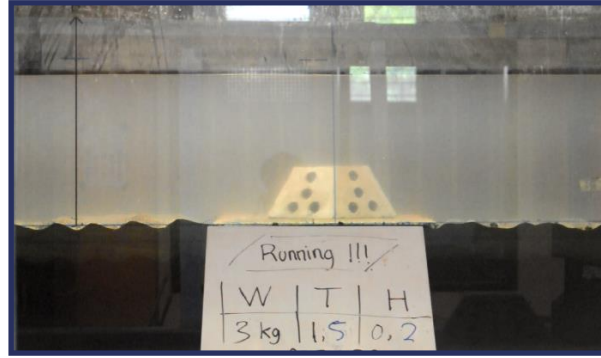
Tabel 12. Nilai H input dan H output model Hexa3

Uji Hexa3			
H.in	H.out	T.in	T.out
meter		detik	
0.11	0.107	1.1	2.032
0.13	0.122	1.1	2.075
0.15	0.133	1.1	1.895
0.17	0.154	1.1	1.711
0.2	0.174	1.1	1.651
0.11	0.110	1.3	2.156
0.13	0.126	1.3	2.200
0.15	0.141	1.3	2.129
0.17	0.157	1.3	1.906
0.2	0.168	1.3	1.629
0.11	0.097	1.5	1.916
0.13	0.115	1.5	1.914
0.15	0.133	1.5	1.816
0.17	0.148	1.5	1.688
0.2	0.185	1.5	1.653

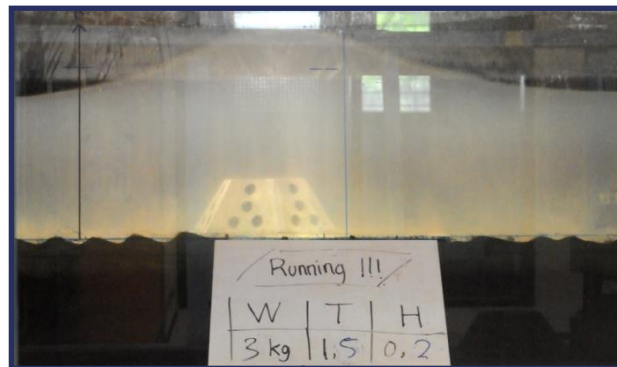
Dari tabel diatas diketahui bahwa nilai tinggi gelombang dan periode gelombang yang diinputkan tidak sama nilai nya dengan yang tercatat pada sistem perekam data. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh kinerja sistem atau pembangkit gelombang yang kurang optimal.

4.3. Pengamatan pengujian secara visual

Dari hasil pengamatan pengujian secara visual, model direkam dan diamati terkait responnya terhadap gelombang uji. Untuk menetapkan posisi awal pengujian dinding kaca kolam gelombang diberi garis vertikal tepat ditengah model sebagai acuan untuk posisi awal yang terlihat pada kamera perekam. Jika setelah gelombang dibangkitkan ternyata posisi tengah model tidak segaris dengan garis vertikal yang telah dibuat sebelumnya, maka model tersebut telah mengalami pergeseran. Gambar 4.2. dan Gambar 4.3. adalah contoh hasil pengamatan yang mengindikasikan bahwa model dengan berat 3 Kg pada kondisi input tinggi gelombang (H) 0.2 m dan periode gelombang (T) 1.5 detik tidak stabil karena model mengalami pergeseran dari posisi awal pengujian.



Gambar 4.2. Posisi awal model sebelum terkena gelombang uji.



Gambar 4.3. Posisi model bergeser akibat terkena gelombang uji.

Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan hasil ekperimen untuk model Hexa1, Hexa2 dan Hexa3

Tabel 13. Hasil pengamatan visual respon model (a) Hexa1, (b) Hexa2 dan (c) Hexa3.

(a)

Hexa1			
Berat	Hi	T	Status
Kg	m	s	
2.6	0.108	2.037	STABIL
2.6	0.124	2.085	STABIL
2.6	0.141	1.910	TIDAK
2.6	0.150	1.718	TIDAK
2.6	0.179	1.851	TIDAK
2.6	0.109	2.234	STABIL
2.6	0.128	2.152	STABIL
2.6	0.141	2.084	TIDAK
2.6	0.148	1.703	TIDAK
2.6	0.179	1.653	TIDAK
2.6	0.095	1.922	STABIL
2.6	0.113	1.872	STABIL
2.6	0.132	1.752	TIDAK
2.6	0.150	1.627	TIDAK
2.6	0.178	1.694	TIDAK

(b)

Hexa2			
Berat	Hi	T	Status
Kg	m	s	
3	0.108	2.062	STABIL
3	0.125	2.074	STABIL
3	0.142	1.956	STABIL
3	0.150	1.685	TIDAK
3	0.176	1.715	TIDAK
3	0.109	2.137	STABIL
3	0.128	2.048	STABIL
3	0.142	2.158	STABIL
3	0.150	1.772	TIDAK
3	0.171	1.630	TIDAK
3	0.095	1.944	STABIL
3	0.114	1.900	STABIL
3	0.131	1.856	STABIL
3	0.151	1.633	TIDAK
3	0.181	1.665	TIDAK

(c)

Hexa3			
Berat	Hi	T	Status
Kg	m	s	
4.6	0.107	2.032	STABIL
4.6	0.122	2.075	STABIL
4.6	0.133	1.895	STABIL
4.6	0.154	1.711	STABIL
4.6	0.174	1.651	STABIL
4.6	0.110	2.156	STABIL
4.6	0.126	2.200	STABIL
4.6	0.141	2.129	STABIL
4.6	0.157	1.906	STABIL
4.6	0.168	1.629	STABIL
4.6	0.097	1.916	STABIL
4.6	0.115	1.914	STABIL
4.6	0.133	1.816	STABIL
4.6	0.148	1.688	STABIL
4.6	0.185	1.653	STABIL

Tabel diatas menunjukkan hasil pengamatan secara visual terkait dengan kondisi model pada saat pengujian. Pada kolom “status” menunjukkan jika model tidak mengalami pergeseran atau perubahan posisi maka dinyatakan “STABIL” yang berarti model stabil, sebaliknya apabila model mengalami pergeseran atau perubahan posisi maka dinyatakan “TIDAK” yang berarti tidak stabil. Diketahui beberapa model tidak stabil atau mengalami pergeseran pada variasi tinggi dan periode gelombang tertentu,

4.4. Perhitungan gaya gelombang terhadap model

Perhitungan gaya gelombang ini bertujuan untuk mencocokkan respon model pada hasil pengamatan visual dengan hasil perhitungan yang dimana masing-masing model didapatkan 15 data pengujian. Diketahui bahwa gaya gelombang yang bekerja terhadap model adalah gaya seret (F_D), sedangkan gaya pada model sendiri atau gaya normal adalah gaya apung (F_B) dan berat model (W_r) itu sendiri serta dipengaruhi oleh koefisien gesek statis atau koefisien gesekan permukaan (μ). Untuk perhitungan gaya seret menggunakan rumusan pada persamaan 12, sedangkan untuk perhitungan gaya apung menggunakan persamaan 16. Model akan stabil apabila resultan gaya seret lebih kecil dari gaya normal ($F_D \leq \mu(W_r - F_B)$), jika resultan gaya seret lebih besar dari gaya normal ($F_D \geq \mu(W_r - F_B)$) model dinyatakan tidak stabil. Perhitungan menggunakan asumsi nilai koefisien gaya seret (C_D) dan koefisien gesekan permukaan (μ) adalah 1 dan 0.6. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan ternyata semua data hasilnya sesuai dengan hasil pengamatan eksperimen (pengamatan secara visual). Perbandingan hasil perhitungan dan eksperimen dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 14. Perbandingan hasil perhitungan dan eksperimen untuk model dengan berat (a) 2,6 Kg, (b) 3 Kg dan (c) 4,6 Kg.

HEXA1				PERHITUNGAN		EKSPERIMEN	
Hi	T	Gaya Gelombang	Gaya Normal	$FD \leq \mu(W_r - FB)$	$FD \geq \mu(W_r - FB)$	Tidak Geser	Geser
		FD	$\mu(W_r - FB)$	STABIL	TIDAK	STABIL	STABIL
0.108	2.037	0.266	0.429	STABIL		STABIL	
0.124	2.085	0.330	0.429	STABIL		STABIL	
0.141	1.910	0.512	0.429	TIDAK		TIDAK	
0.150	1.718	0.712	0.429	TIDAK		TIDAK	
0.179	1.851	0.878	0.429	TIDAK		TIDAK	
0.109	2.234	0.225	0.429	STABIL		STABIL	
0.128	2.152	0.331	0.429	STABIL		STABIL	
0.141	2.084	0.431	0.429	TIDAK		TIDAK	
0.148	1.703	0.708	0.429	TIDAK		TIDAK	
0.179	1.653	1.096	0.429	TIDAK		TIDAK	
0.095	1.922	0.231	0.429	STABIL		STABIL	
0.113	1.872	0.344	0.429	STABIL		STABIL	
0.132	1.752	0.531	0.429	TIDAK		TIDAK	
0.150	1.627	0.801	0.429	TIDAK		TIDAK	
0.178	1.694	1.042	0.429	TIDAK		TIDAK	

(a)

HEXA2				PERHITUNGAN		EKSPERIMEN	
Hi	T	Gaya Gelombang	Gaya Normal	$FD \leq \mu(Wr - FB)$	$FD \geq \mu(Wr - FB)$	Tidak Geser	Geser
		FD	$\mu(Wr - FB)$	STABIL	TIDAK	STABIL	TIDAK
0.108	2.062	0.257	0.669	STABIL		STABIL	
0.125	2.074	0.342	0.669	STABIL		STABIL	
0.142	1.956	0.496	0.669	STABIL		STABIL	
0.150	1.685	0.741	0.669	TIDAK		TIDAK	
0.176	1.715	0.994	0.669	TIDAK		TIDAK	
0.109	2.137	0.242	0.669	STABIL		STABIL	
0.128	2.048	0.364	0.669	STABIL		STABIL	
0.142	2.158	0.407	0.669	STABIL		STABIL	
0.150	1.772	0.673	0.669	TIDAK		TIDAK	
0.171	1.630	1.030	0.669	TIDAK		TIDAK	
0.095	1.944	0.224	0.669	STABIL		STABIL	
0.114	1.900	0.338	0.669	STABIL		STABIL	
0.131	1.856	0.469	0.669	STABIL		STABIL	
0.151	1.633	0.804	0.669	TIDAK		TIDAK	
0.181	1.665	1.106	0.669	TIDAK		TIDAK	

(b)

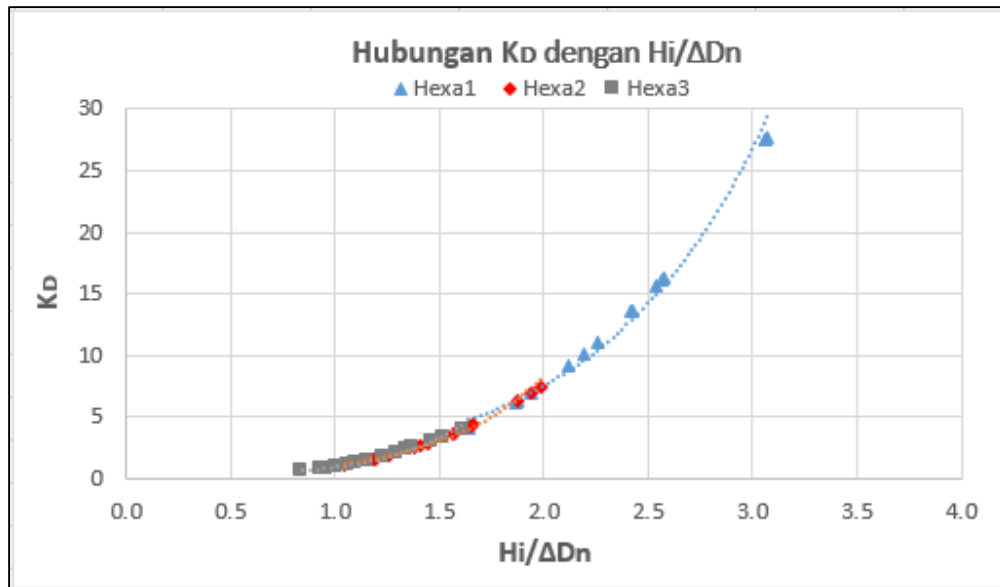
HEXA3				PERHITUNGAN		EKSPERIMEN	
Hi	T	Gaya Gelombang	Gaya Normal	$FD \leq \mu(Wr - FB)$	$FD \geq \mu(Wr - FB)$	Tidak Geser	Geser
		FD	$\mu(Wr - FB)$	STABIL	TIDAK	STABIL	STABIL
0.107	2.032	0.258	1.094	STABIL		STABIL	
0.122	2.075	0.324	1.094	STABIL		STABIL	
0.133	1.895	0.463	1.094	STABIL		STABIL	
0.154	1.711	0.761	1.094	STABIL		STABIL	
0.174	1.651	1.047	1.094	STABIL		STABIL	
0.110	2.156	0.244	1.094	STABIL		STABIL	
0.126	2.200	0.309	1.094	STABIL		STABIL	
0.141	2.129	0.414	1.094	STABIL		STABIL	
0.157	1.906	0.641	1.094	STABIL		STABIL	
0.168	1.629	0.996	1.094	STABIL		STABIL	
0.097	1.916	0.239	1.094	STABIL		STABIL	
0.115	1.914	0.342	1.094	STABIL		STABIL	
0.133	1.816	0.501	1.094	STABIL		STABIL	
0.148	1.688	0.724	1.094	STABIL		STABIL	
0.185	1.653	1.090	1.094	STABIL		STABIL	

(c)

Dari data eksperimen pada model Hexa1 dengan berat 2.6 Kg terdapat 9 data yang dinyatakan tidak stabil karena model mengalami pergeseran pada saat terkena gaya gelombang, hal ini sesuai dengan hasil perhitungan dimana besarnya gaya gelombang dari 9 data tersebut memang lebih besar dari gaya normalnya, sehingga secara teori model akan mengalami pergeseran atau dalam eksperimen ini dinyatakan tidak stabil. Model Hexa2 dan Hexa3 hasil perhitungan juga sudah sesuai dengan data hasil eksperimen.

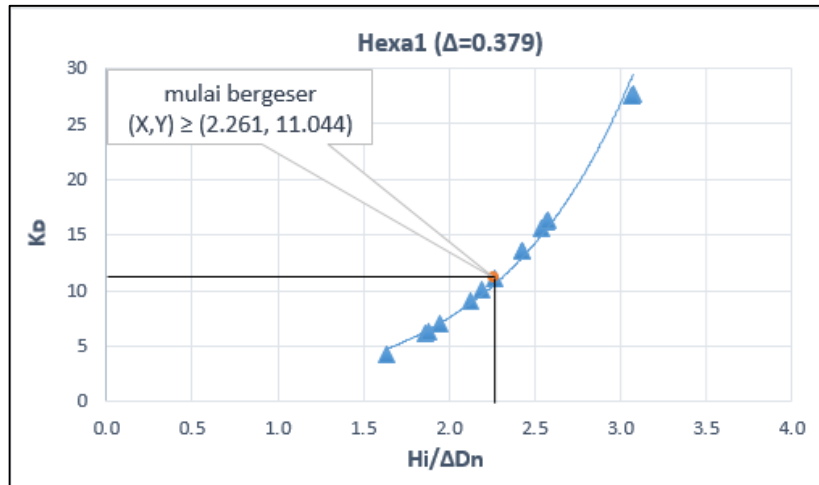
4.5. Pengaruh koefisien stabilitas (K_D) terhadap bilangan stabilitas ($H_i/\Delta D_n$)

Hubungan antara koefisien stabilitas (K_D) terhadap bilangan stabilitas ($H_i/\Delta D_n$) untuk bentuk Hexagonal ditunjukkan dalam Gambar 4.4.

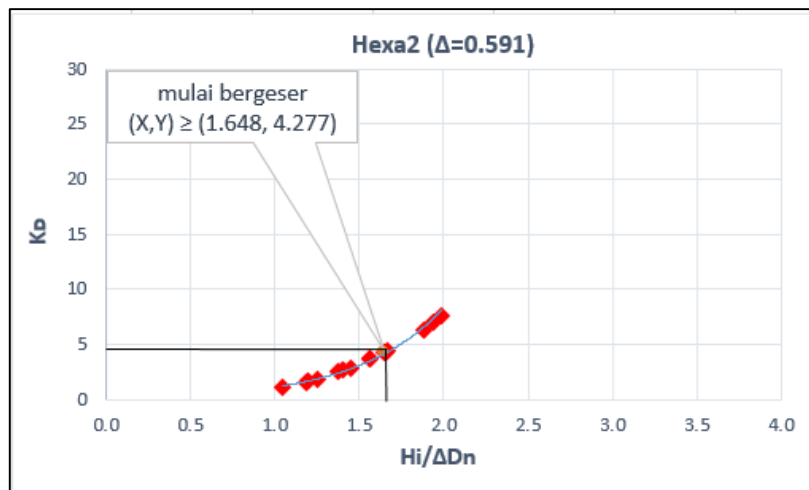


Gambar 4.4. Hubungan koefisien stabilitas (K_D) terhadap bilangan stabilitas ($H_i/\Delta D_n$) untuk bentuk Hexagonal

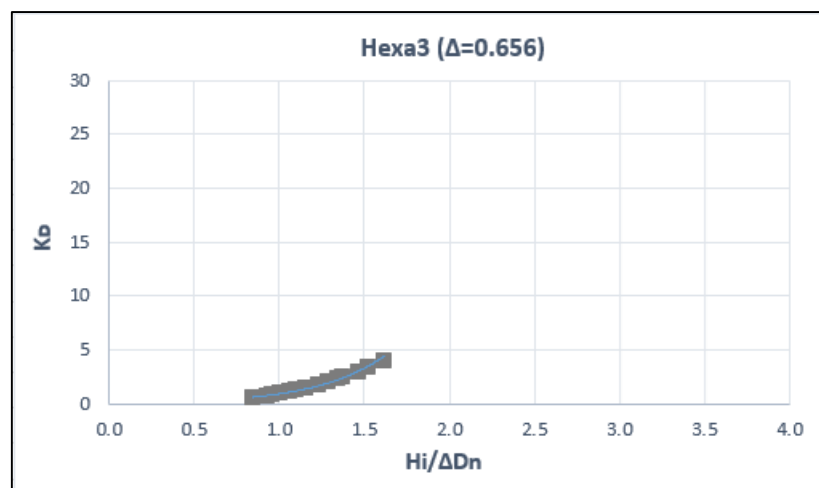
Berdasarkan gambar diatas, nilai dari koefisien stabilitas (K_D) semakin besar berbanding lurus dengan bilangan stabilitas ($H/\Delta D_n$) yang besar. Bilangan stabilitas sangat dipengaruhi oleh berat model (W) dan berat jenis (γ_r). Berat jenis relatif (Δ) memiliki peranan dalam menentukan besar kecilnya nilai koefisien stabilitas. Dari Gambar 4.5 kita dapat mengetahui lebih jelas bagaimana pengaruh berat jenis relatif masing-masing berat model terhadap koefisien stabilitas dan bilangan stabilitas. Model Hexa1 dengan berat 2.6 Kg memiliki berat jenis relatif (Δ) sebesar 0.379, model Hexa2 dengan berat 3 Kg memiliki berat jenis relatif sebesar 0.591 dan model Hexa3 dengan berat 4.6 Kg berat jenis relatifnya sebesar 0.656.



(a)



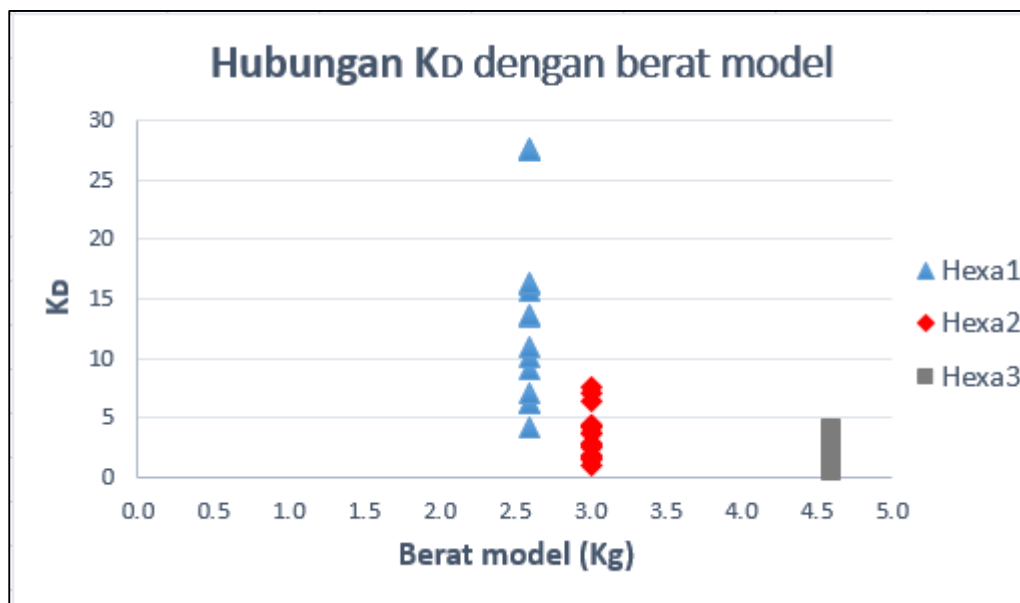
(b)



(c)

Gambar 4.5. Hubungan koefisien stabilitas (K_D) terhadap bilangan stabilitas ($H_i/\Delta D_n$) untuk model (a) Hexa1, (b) Hexa2 dan (c) Hexa3.

Semakin kecil berat jenis relatif maka semakin tinggi nilai koefisien stabilitasnya, hubungan keduanya berbanding terbalik. Apabila nilai koefisien stabilitas besar berarti model cenderung tidak stabil bila dibandingkan dengan nilai koefisien stabilitas kecil atau bisa juga dikatakan semakin besar nilai koefisien stabilitas maka tingkat kerusakan juga semakin meningkat. Berat model juga memiliki peranan penting, dapat dilihat bahwa semakin berat model maka semakin rendah nilai koefisien stabilitas (K_D). Dapat disimpulkan bahwa berat model berbanding terbalik dengan nilai koefisien stabilitas. Semakin berat model yang digunakan maka nilai koefisien stabilitas akan semakin kecil, ditunjukkan pada Gambar 4.6 berikut :



Gambar 4.6. Hubungan koefisien stabilitas (K_D) dengan berat model (W).

Hasil perhitungan koefisien stabilitas dan bilangan stabilitas untuk masing-masing berat dapat dilihat pada Tabel 15. sebagai berikut :

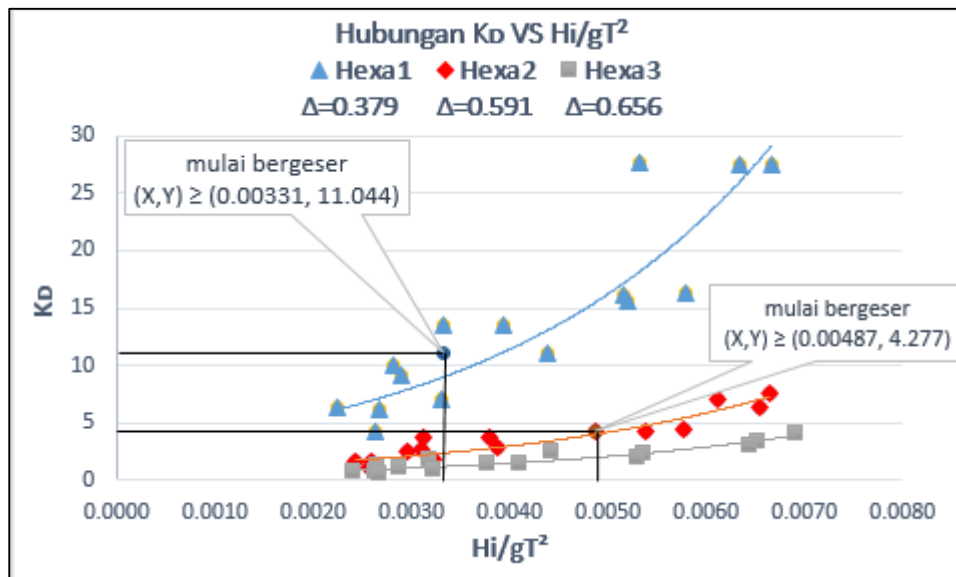
Tabel 15. Hasil perhitungan nilai K_D dan $H_i/\Delta D_n$.

Parameter	Berat Model (Kg)		
	2.6	3	4.6
K_D	5.675 - 37.473	1.363 - 9.371	0.702 - 4.941
Geser	≥ 14.935	≥ 5.332	-
$H_i/\Delta D_n$	1.811 - 3.398	1.126 - 2.141	0.902 - 1.729
Gesesr	≥ 2.5	≥ 1.774	-

Dari tabel diatas menunjukkan model Hexa1 ($\Delta = 0.379$) akan mulai bergeser atau dinyatakan tidak stabil apabila nilai koefisien stabilitasnya ≥ 11.044 dan nilai bilangan stabilitasnya ≥ 2.261 . Sedangkan untuk model Hexa2 ($\Delta = 0.591$) mulai tidak stabil pada nilai koefisien stabilitas ≥ 4.277 dan bilangan stabilitas ≥ 1.648 . Model Hexa3 ($\Delta = 656$) memiliki nilai koefisien stabilitas paling besar yang nilainya masih dibawah nilai batas pergeseran (≥ 4.277) dari nilai K_D Hexa2 yaitu sebesar 4.020, untuk nilai terendah sebesar 0.571. Nilai bilangan stabilitas sebesar 0.842 – 1.614. Dengan demikian model Hexa3 tetap stabil pada saat pengujian. Selain pengaruh tinggi gelombang, nilai K_D juga dipengaruhi oleh berat jenis relatif (Δ), semakin kecil nilainya maka semakin tinggi nilai K_D seperti yang ditunjukkan pada model Hexa1 ($\Delta = 0.379$). Nilai K_D mengecil seiring dengan meningkatnya nilai berat jenis relatif (Ito dkk, 1992)

4.6. Pengaruh koefisien stabilitas terhadap kecuraman gelombang (H/gT^2)

Hubungan antara koefisien stabilitas (K_D) terhadap kecuraman gelombang (H/gT^2) menunjukkan bahwa meningkatnya nilai kecuraman gelombang berbanding lurus dengan meningkatnya nilai koefisien stabilitas. Semakin besar kecuraman gelombang maka nilai koefisien stabilitas juga makin besar. Nilai kecuraman gelombang untuk model Hexa1 memiliki rentan nilai 0.00223 – 0.00666 dengan batas nilai untuk pergeseran model adalah ≥ 0.00331 . Model Hexa2 memiliki rentan kecuraman gelombang sebesar 0.00242 – 0.00664 dengan batas nilai pergeseran ≥ 0.00487 . Pada model Hexa3 dengan rentan nilai 0.00241 - 0.00690 kondisinya tetap stabil, hal ini dipengaruhi oleh nilai K_D yang lebih kecil daripada nilai K_D model Hexa1 dan Hexa2, walau rentan nilai kecuraman gelombangnya hampir sama. Nilai K_D model Hexa1 rentan nilainya jauh lebih tinggi jika dibanding model Hexa2 dan Hexa3, hal ini disebabkan oleh pengaruh nilai berat jenis relatifnya yang jauh berbeda.



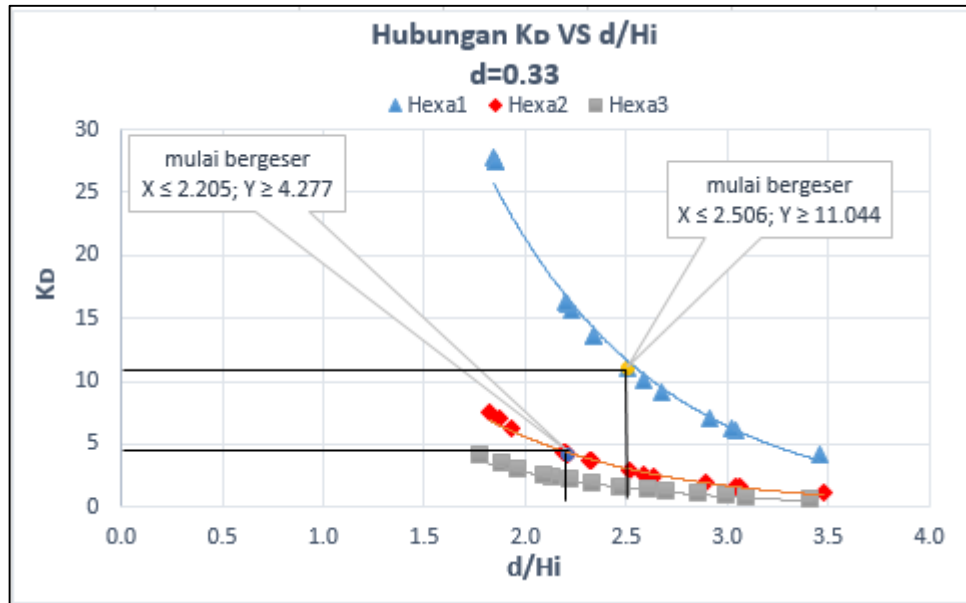
Gambar 4.7. Hubungan koefisien stabilitas (K_D) terhadap kecuraman gelombang (H/gT^2).

Dari gambar diatas dapat disimpulkan bahwa besarnya nilai kecuraman gelombang dipengaruhi oleh tinggi gelombang. Kecuraman gelombang akan meningkat seiring dengan bertambahnya tinggi gelombang dan berkurangnya periode gelombang, karena keduanya memiliki hubungan saling terbalik.

Dari hasil perhitungan gaya gelombang yang mengenai struktur diketahui bahwa pada model Hexa2 dan Hexa3 ada perbedaan hasil pengamatan visual dan perhitungan. Pada pengamatan visual diketahui bahwa model Hexa2 mulai bergeser pada kecuraman gelombang sebesar 0.00487, sedangkan menurut perhitungan gaya gelombang dengan mengacu besar gaya gelombang yang lebih besar daripada gaya normal struktur, model mulai bergeser pada kecuraman gelombang 0.00388. Pada model Hexa3 secara visual tidak terjadi pergeseran, namun dari hasil perhitungan gaya gelombangnya, resultan gaya yang terjadi ada yang melebihi gaya normal atau berat model itu yang berarti model akan bergeser. Resultan gaya gelombangnya yang melebihi gaya normalnya terjadi pada kondisi kecuraman gelombang lebih besar dari 0.00442. Hasil perhitungan dapat dilihat pada lampiran.

4.7. Pengaruh koefisien stabilitas terhadap kedalaman air relatif (d/H)

Hubungan antara koefisien stabilitas (K_D) terhadap kedalaman air relatif (d/H) ditunjukkan dalam gambar dibawah :

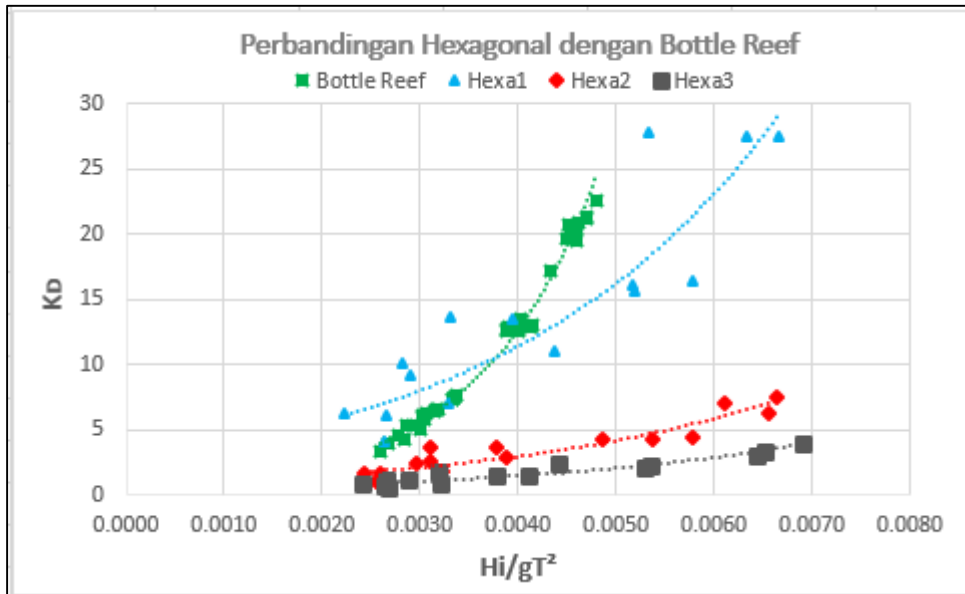


Gambar 4.8. Hubungan koefisien stabilitas (K_D) terhadap kedalaman air relatif (d/H)

Dari hasil perhitungan didapat rentan nilai untuk kedalaman air relatif (d/H) sebesar 1.783 – 3.475. Berdasarkan gambar diatas nilai kedalaman relatif (d/H) berbanding terbalik dengan koefisien stabilitas (K_D). Nilai d/H_i sendiri dipengaruhi oleh tinggi gelombang, saat tinggi gelombang besar maka nilainya kecil dan apabila tinggi gelombang kecil maka nilainya akan besar. Pada nilai d/H_i kecil akan berpengaruh pada koefisien stabilitas yang besar, dengan demikian pada nilai d/H_i kecil model akan lebih stabil. Jika tinggi gelombang semakin besar maka nilai koefisien stabilitasnya juga akan meningkat seiring dengan pertambahan nilai tinggi gelombang.

4.8. Perbandingan koefisien stabilitas (K_D) Hexareef terhadap model lainnya.

Nilai koefisien stabilitas model terumbu buatan bentuk Hexagonal yang telah diketahui kemudian akan dibandingkan dengan nilai koefisien stabilitas dengan model yang lain. Dalam penelitian ini model yang digunakan sebagai perbandingan adalah model terumbu buatan bentuk Bottle Reef yang sebelumnya telah di uji oleh Akhwady (2012). Dengan menggunakan parameter kecuraman gelombang (H_i/gT^2), maka hubungan antara koefisien stabilitas dengan kecuraman gelombang untuk masing-masing model ditampilkan pada Gambar 4.9. berikut :



Gambar 4.9. Hubungan koefisien stabilitas (K_D) dengan kecuraman gelombang (H_i/gT^2) untuk model Hexa1, Hexa2, Hexa3 dan Bottle Ball.

Dari gambar diatas menunjukkan model Bottle Reef dengan rentan nilai kecuraman gelombang yang tidak besar memiliki trend peningkatan K_D yang tinggi, sedangkan pada model Hexagonal dengan rentan nilai kecuraman gelombang yang lebih besar memiliki nilai peningkatan K_D yang cukup rendah. Diketahui jika tinggi gelombang meningkat akan menyebabkan meningkatnya kecuraman gelombang, dengan kecuraman gelombang yang besar maka model rentan terhadap pergeseran karena gaya-gaya gelombang yang bekerja semakin besar. Untuk rentan nilai K_D dan kecuraman gelombang masing-masing model ditunjukkan pada Tabel 16

Tabel 16. Rentan nilai K_D dan H_i/gT^2 untuk model Hexa1, Hexa2, Hexa3 dan Bottle Reef.

Model	Rentan nilai	
	K_D	H_i/gT^2
Hexa1	4.197 - 27.710	0.0022 - 0.0066
Hexa2	1.093 - 7.517	0.0024 - 0.0066
Hexa3	0.571 - 4.020	0.0024 - 0.0069
Bottle Reef	3.33 - 22.61	0.0026 - 0.0048

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil dan pembahasan yang telah diuraikan, maka dapat diperoleh kesimpulan antara lain :

1. Peningkatan tinggi gelombang (H_i) dengan periode gelombang (T) yang tetap, akan mengakibatkan peningkatan nilai kecuraman gelombang (H_i/gT^2), dengan meningkatnya kecuraman gelombang maka nilai koefisien stabilitas (K_D) juga ikut meningkat. Hal ini menyebabkan model memiliki kecenderungan untuk bergeser.
2. Berat model mempunyai pengaruh besar dalam menentukan nilai koefisien stabilitas terutama pada faktor berat jenis relatifnya, keduanya memiliki hubungan berbanding terbalik, jika berat jenis relatifnya besar maka nilai K_D nya kecil . Model Hexa1 dengan berat 2.6 Kg memiliki berat jenis relatif sebesar 0.379, model Hexa2 dengan berat 3 Kg memiliki berat jenis relatif sebesar 0.591 sedangkan untuk model Hexa3 dengan berat 4.6 Kg berat jenis relatifnya sebesar 0.656. Dengan demikian semakin berat model maka berat jenis relatifnya juga meningkat serta nilai koefisien stabilitasnya semakin kecil.
3. Dari hasil perbandingan model Hexagonal dengan model Bottle Reef didapat nilai rerata koefisien stabilitas untuk model Hexa1 sebesar 14.13, Hexa2 sebesar 3.69, Hexa3 sebesar 1.68 dan Bottle Reef sebesar 11.42. Nilai koefisien stabilitas yang rendah cenderung stabil. Dengan demikian model Bottle Reef lebih stabil dibanding model Hexa1 tetapi tidak dengan model Hexa2 dan Hexa3. Model Hexa2 dan Hexa3 memiliki rerata koefisien stabilitas yang lebih rendah daripada model Bottle Reef.

5.2. Saran

Untuk lebih menyesuaikan kondisi dilapangan mungkin perlu ditambahkan analisa untuk gelombang irregular, kemudian aspek porositas juga turut diperhitungkan. Perlu kajian dan pemikiran yang lebih lanjut untuk mendapatkan model persamaan stabilitas untuk model Hexareef

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Amenan, M. 2009. "*Stabilitas Terumbu Buatan Bentuk Kubus Berongga Terhadap Gelombang*". Thesis, ITS Surabaya. hal.84.
- Armono, H.D. 2004. "*A Two Dimensional Hydrodynamic Model in the Vicinity of Articial Reefs*". Paper presented for PIT XXI – HATHI, Denpasar, 2004.
- Armono, H.D. 1999. "*Flow Field Around Single And Multiple Hollow Hemispherical Artificial Reefs Used For Fish Habitat*". Thesis. Faculty of Engineering and Apllied Science. Memorial University of Newfoundland. August. 1999.
- Battacharyya. 1972. "*Dynamic of Marine Vehicles*". a Wiley Interscience Publication, John Wiley and Sons, New York.
- Black, K.P and Mead, S.T., 1997. "*A Multipurpose Artificial Reef at Mount Maunganui*". Coastal Management Journal Vol.27 (4) October – December, p355 – 365.
- Burcharth, H.F. 1994. "*The Design of Breakwaters. Coastal, Estuarial, and Harbour Engineers*". Reference Book, eds. Abbot, M.B. Price, W. A., E & FN SPON London, pp. 381 –424.
- CERC. 1984. "*Shore Protection Manual*". Departement of The Army Waterway Experiment Station, Corps of Engineering Research Center, Fourth Edition, US Governtment Printing Office, Woshington, p.
- Dhiecha, dkk (2015). "*Perencanaan artificial reef sebagai restorasi terumbu karang dan pengaman pantai di Pulau Lemukutan Kabupaten Bengkayang*". Universitas Tanjungpura, Pontianak.
- Fatnanta, F. 2009. "*Kajian Perilaku Transmisi dan Stabilitas Pemecah Gelombang Kantong Pasir tipe Tenggelam*". Disertasi. ITS Surabaya. 164 hal.

[Http://lipi.go.id/berita/single/Inilah-Status-Terumbu-Karang-Indonesia-Terkini/15024](http://lipi.go.id/berita/single/Inilah-Status-Terumbu-Karang-Indonesia-Terkini/15024). Diakses tanggal 3 Maret 2016

Hudson, R.Y. 1959. "*Laboratory Investigation Of Rubble-Mound Breakwaters*". Waterways and Harbor Division, Vol 85 No WW3.

Hudson, R.Y. 1975. "*Reliability of Rubble-Mound Breakwater Stability Models*". Miscellaneous Paper H-75-5, U.S Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS

Hughes, S.A. 1993. "*Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering*". first edition, World Scientific. Singapore. p. 177-182.

Ito, M. Iwagaki, Y., Yamada, T., Nemoto, K., Yamamoto, H. and Hanzawa, M. (1992). "*Stability of High-Specific Gravity Armour Blocks*". Proceeding of Civil Engineering in Ocean. Chapter 83. Japanese.

Kinog. K. 2005. "*Stabilitas Armour Pada Breakwater Tenggelam*". Jurnal Teknik Sipil. Vol.12. No.1 Januari 2005

Palmer, G. dan C. D. Christian. 1998. "*Design and Construction of Rubble Mound Breakwaters*". Journal of IPENZ Transactions., 25 (1) 19-33.

R, Akhwandy. , Armono, HD. , Mukhtasor. , Mustain, M. 2012. "*Pengaruh Beda Porositas Terumbu Buatan Tipe Silinder Berongga (Bottle Reef TM) Sebagai Submerged Breakwater Terhadap Kinerja Peredaman Gelombang*". Indonesian Journal of Marine Sciences p-ISSN 0853-7291; e-ISSN:2406-7598

Reef Ball Development Group (RBDG), (1997). Internet Brochure, <http://www.reefball.org>.

Rohani, I. 2013. "*Study on Armour Breakwater Stability Using Rock Pocket*". Thesis. Universitas Hasanuddin. Makassar.

- Sidek, F.J. & M.A. Wahab. 2007. "*The Effects of Porosity of Submerged BW Structures on Non Breaking Wave Transformations*". Malay. J. Civ. Eng., 19(1): 17–25.
- Takeuchi, T. 1992. "*Design of Artificial Reefs in Consideration of Environmental Characteristics*", Japan-US Symposium on Artificial Habitats for Fisheries Proceedings. Southern California Edison Co. M. Nakamura. Robert S. Grove, Charles J. Sonu, (eds), pp. 195 - 203.
- Triatmodjo. 2011. "*Perencanaan Bangunan Pantai*". Beta Offset Yogyakarta.
- Yuwono, Nur, Nizam dan Mundra, I.W. (1997). "*Studi Model Fisik Stabilitas dan Unjuk Kerja Reef Buatan Pada Perlindungan Pantai*". Kumpulan Naskah Ilmiah Teknik Pantai dan Pelabuhan. PAU Ilmu Teknik UGM Jogjakarta.

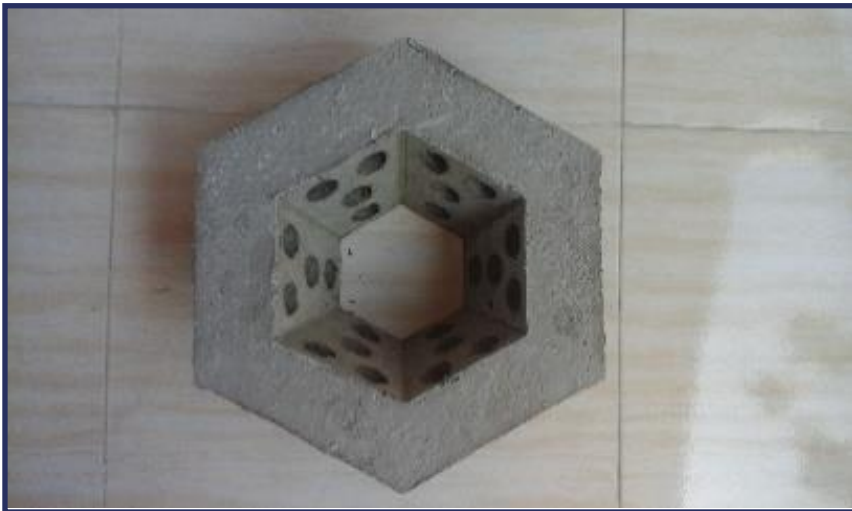
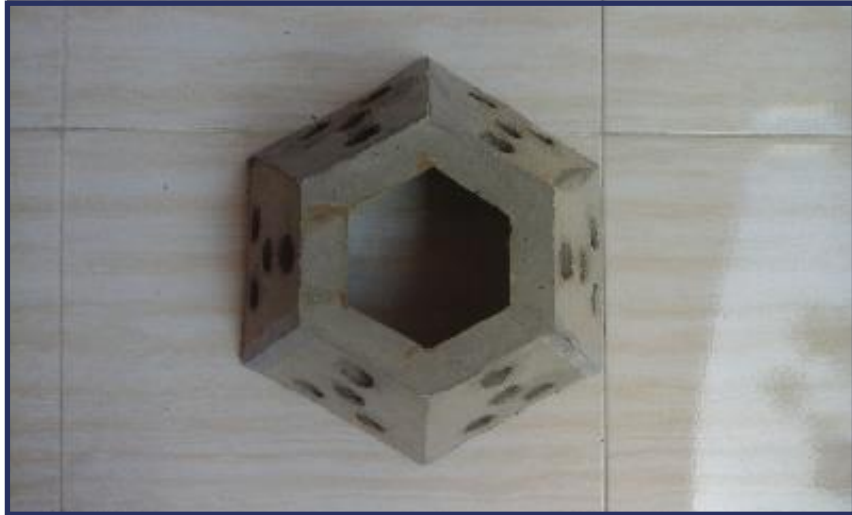
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

Proses pembuatan model terumbu buatan dan hasil cetakan





File video eksperimen (pengamatan secara visual)





DSC_0424



DSC_0425



DSC_0426



DSC_0427



DSC_0428



DSC_0429



DSC_0406



DSC_0407



DSC_0408



DSC_0409



DSC_0410



DSC_0411



DSC_0412



DSC_0413



DSC_0414



DSC_0415



DSC_0416



DSC_0417



DSC_0418



DSC_0419



DSC_0420



DSC_0421



DSC_0422



DSC_0423



DSC_0424



DSC_0425



DSC_0426



DSC_0427



DSC_0428



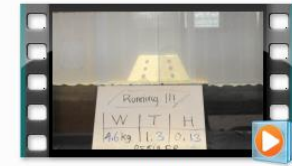
DSC_0429



DSC_0406



DSC_0407



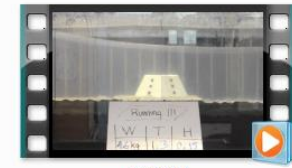
DSC_0408



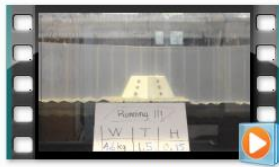
DSC_0409



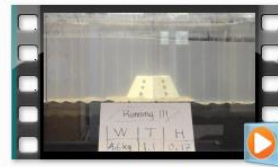
DSC_0410



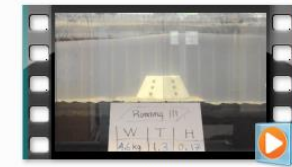
DSC_0411



DSC_0412



DSC_0413



DSC_0414



DSC_0415



DSC_0416



DSC_0417



DSC_0418

LAMPIRAN 3

Hasil pembacaan gelombang pada perangkat lunak AnaWare

Berat model = 2.6 Kg (Hexa1)

Wave and Response Analysis - FlumeTank@2011

Beginning of analysis result

```
=====
Nama File: W2.6H1.1T1.1.xls
=====
```

Wave Characteristic

```
+++++
Average Wave Period      = 2.1905 seconds
Wave Peak Period        = 2.0373 seconds
Mean Zero Crossing Period = 2.1767 seconds
Significant Wave Height  = 10.8462 centimetres
Maximum Wave Height      = 19.1978 centimetres
Zero Moment Wave Height  = 10.8462 centimetres
Average Wave Height      = 6.7789 centimetres
rms Wave Height          = 6.0305 centimetres
Average of Highest 1/10  = 13.7747 centimetres
```

```
=====
Nama File: W2.6H1.1T1.3.xls
=====
```

Wave Characteristic

```
+++++
Average Wave Period      = 2.5530 seconds
Wave Peak Period        = 2.2334 seconds
Mean Zero Crossing Period = 2.5184 seconds
Significant Wave Height  = 10.9284 centimetres
Maximum Wave Height      = 19.3433 centimetres
Zero Moment Wave Height  = 10.9284 centimetres
Average Wave Height      = 6.8303 centimetres
rms Wave Height          = 6.0762 centimetres
Average of Highest 1/10  = 13.8791 centimetres
```

```
=====
Nama File: W2.6H1.1T1.5.xls
=====
```

Wave Characteristic

```
+++++
Average Wave Period      = 2.6771 seconds
Wave Peak Period        = 1.9224 seconds
Mean Zero Crossing Period = 2.5483 seconds
Significant Wave Height  = 9.5383 centimetres
```

Maximum Wave Height	=	16.8828	centimetres
Zero Moment Wave Height	=	9.5383	centimetres
Average Wave Height	=	5.9614	centimetres
rms Wave Height	=	5.3033	centimetres
Average of Highest 1/10	=	12.1136	centimetres

=====

Nama File: W2.6H1.3T1.1.xls

=====

Wave Characteristic

+++++

Average Wave Period	=	2.1948	seconds
Wave Peak Period	=	2.0849	seconds
Mean Zero Crossing Period	=	2.1846	seconds
Significant Wave Height	=	12.3569	centimetres
Maximum Wave Height	=	21.8718	centimetres
Zero Moment Wave Height	=	12.3569	centimetres
Average Wave Height	=	7.7231	centimetres
rms Wave Height	=	6.8705	centimetres
Average of Highest 1/10	=	15.6933	centimetres

=====

Nama File: W2.6H1.3T1.3.xls

=====

Wave Characteristic

+++++

Average Wave Period	=	2.5594	seconds
Wave Peak Period	=	2.1516	seconds
Mean Zero Crossing Period	=	2.5227	seconds
Significant Wave Height	=	12.7719	centimetres
Maximum Wave Height	=	22.6062	centimetres
Zero Moment Wave Height	=	12.7719	centimetres
Average Wave Height	=	7.9824	centimetres
rms Wave Height	=	7.1012	centimetres
Average of Highest 1/10	=	16.2203	centimetres

=====

Nama File: W2.6H1.3T1.5.xls

=====

Wave Characteristic

+++++

Average Wave Period	=	2.6282	seconds
Wave Peak Period	=	1.8717	seconds
Mean Zero Crossing Period	=	2.4924	seconds
Significant Wave Height	=	11.3168	centimetres
Maximum Wave Height	=	20.0308	centimetres
Zero Moment Wave Height	=	11.3168	centimetres
Average Wave Height	=	7.0730	centimetres
rms Wave Height	=	6.2922	centimetres

Average of Highest 1/10 = 14.3724 centimetres

=====
Nama File: W2.6H1.5T1.1.xls
=====

Wave Characteristic

+++++++
Average Wave Period = 2.1611 seconds
Wave Peak Period = 1.9096 seconds
Mean Zero Crossing Period = 2.1340 seconds
Significant Wave Height = 14.0994 centimetres
Maximum Wave Height = 25.1152 centimetres
Zero Moment Wave Height = 14.1894 centimetres
Average Wave Height = 8.8683 centimetres
rms Wave Height = 7.8893 centimetres
Average of Highest 1/10 = 18.0205 centimetres

=====
Nama File: W2.6H1.5T1.3.xls
=====

Wave Characteristic

+++++++
Average Wave Period = 2.5669 seconds
Wave Peak Period = 2.0841 seconds
Mean Zero Crossing Period = 2.5287 seconds
Significant Wave Height = 14.1185 centimetres
Maximum Wave Height = 24.9897 centimetres
Zero Moment Wave Height = 14.1185 centimetres
Average Wave Height = 8.8241 centimetres
rms Wave Height = 7.8499 centimetres
Average of Highest 1/10 = 17.9305 centimetres

=====
Nama File: W2.6H1.5T1.5.xls
=====

Wave Characteristic

+++++++
Average Wave Period = 2.6215 seconds
Wave Peak Period = 1.7525 seconds
Mean Zero Crossing Period = 2.4691 seconds
Significant Wave Height = 13.1686 centimetres
Maximum Wave Height = 23.3084 centimetres
Zero Moment Wave Height = 13.1686 centimetres
Average Wave Height = 8.2304 centimetres
rms Wave Height = 7.3217 centimetres
Average of Highest 1/10 = 16.7241 centimetres

=====
Nama File: W2.6H1.7T1.1.xls

=====

Wave Characteristic

+++++

Average Wave Period	=	2.1356	seconds
Wave Peak Period	=	1.7184	seconds
Mean Zero Crossing Period	=	2.0884	seconds
Significant Wave Height	=	14.9527	centimetres
Maximum Wave Height	=	26.4662	centimetres
Zero Moment Wave Height	=	14.9527	centimetres
Average Wave Height	=	9.3454	centimetres
rms Wave Height	=	8.3137	centimetres
Average of Highest 1/10	=	18.9899	centimetres

=====

Nama File: W2.6H1.7T1.3.xls

=====

Wave Characteristic

+++++

Average Wave Period	=	2.4240	seconds
Wave Peak Period	=	1.7033	seconds
Mean Zero Crossing Period	=	2.3360	seconds
Significant Wave Height	=	14.7816	centimetres
Maximum Wave Height	=	26.1634	centimetres
Zero Moment Wave Height	=	14.7816	centimetres
Average Wave Height	=	9.2385	centimetres
rms Wave Height	=	8.2186	centimetres
Average of Highest 1/10	=	18.7726	centimetres

=====

Nama File: W2.6H1.7T1.5.xls

=====

Wave Characteristic

+++++

Average Wave Period	=	2.5968	seconds
Wave Peak Period	=	1.6267	seconds
Mean Zero Crossing Period	=	2.4034	seconds
Significant Wave Height	=	15.0149	centimetres
Maximum Wave Height	=	26.5763	centimetres
Zero Moment Wave Height	=	15.0149	centimetres
Average Wave Height	=	9.3843	centimetres
rms Wave Height	=	8.3483	centimetres
Average of Highest 1/10	=	19.0689	centimetres

=====

Nama File: W2.6H12.0T1.1.xls

=====

Wave Characteristic

+++++

Average Wave Period	=	2.1694	seconds
Wave Peak Period	=	1.8510	seconds

Mean Zero Crossing Period = 2.1455 seconds
Significant Wave Height = 17.8944 centimetres
Maximum Wave Height = 31.6731 centimetres
Zero Moment Wave Height = 17.8944 centimetres
Average Wave Height = 11.1840 centimetres
rms Wave Height = 9.9493 centimetres
Average of Highest 1/10 = 22.7259 centimetres

=====
Nama File: W2.6H12.0T1.3.xls
=====

Wave Characteristic
+++++
Average Wave Period = 2.2616 seconds
Wave Peak Period = 1.6533 seconds
Mean Zero Crossing Period = 2.1147 seconds
Significant Wave Height = 17.8511 centimetres
Maximum Wave Height = 29.0150 centimetres
Zero Moment Wave Height = 16.3927 centimetres
Average Wave Height = 10.2454 centimetres
rms Wave Height = 9.1143 centimetres
Average of Highest 1/10 = 20.8187 centimetres

=====
Nama File: W2.6H12.0T1.5.xls
=====

Wave Characteristic
+++++
Average Wave Period = 2.8312 seconds
Wave Peak Period = 1.6944 seconds
Mean Zero Crossing Period = 2.6896 seconds
Significant Wave Height = 17.8457 centimetres
Maximum Wave Height = 31.5868 centimetres
Zero Moment Wave Height = 17.8457 centimetres
Average Wave Height = 11.1535 centimetres
rms Wave Height = 9.9222 centimetres
Average of Highest 1/10 = 22.6640 centimetres

End of analysis result

Berat model = 3 Kg (Hexa2)

Wave and Response Analysis - FlumeTank@2011

Beginning of analysis result

```
=====
Nama File: W3H1.1T1.1.xls
=====
```

Wave Characteristic

```
+++++
Average Wave Period      = 2.1958 seconds
Wave Peak Period        = 2.0623 seconds
Mean Zero Crossing Period = 2.1842 seconds
Significant Wave Height  = 10.7801 centimetres
Maximum Wave Height     = 19.0807 centimetres
Zero Moment Wave Height  = 10.7801 centimetres
Average Wave Height      = 6.7375 centimetres
rms Wave Height          = 5.9937 centimetres
Average of Highest 1/10  = 13.6907 centimetres
```

```
=====
Nama File: W3H1.1T1.3.xls
=====
```

Wave Characteristic

```
+++++
Average Wave Period      = 2.5325 seconds
Wave Peak Period        = 2.1373 seconds
Mean Zero Crossing Period = 2.4895 seconds
Significant Wave Height  = 10.8511 centimetres
Maximum Wave Height     = 19.2064 centimetres
Zero Moment Wave Height  = 10.8511 centimetres
Average Wave Height      = 6.7819 centimetres
rms Wave Height          = 6.0332 centimetres
Average of Highest 1/10  = 13.7809 centimetres
```

```
=====
Nama File: W3H1.1T1.5.xls
=====
```

Wave Characteristic

```
+++++
Average Wave Period      = 2.6720 seconds
Wave Peak Period        = 1.9437 seconds
Mean Zero Crossing Period = 2.5448 seconds
Significant Wave Height  = 9.4974 centimetres
Maximum Wave Height     = 16.8103 centimetres
Zero Moment Wave Height  = 9.4974 centimetres
Average Wave Height      = 5.9358 centimetres
rms Wave Height          = 5.2805 centimetres
Average of Highest 1/10  = 12.0616 centimetres
```

=====
Nama File: W3H1.3T1.1.xls
=====

Wave Characteristic
+++++
Average Wave Period = 2.1959 seconds
Wave Peak Period = 2.0738 seconds
Mean Zero Crossing Period = 2.1858 seconds
Significant Wave Height = 12.5084 centimetres
Maximum Wave Height = 22.1399 centimetres
Zero Moment Wave Height = 12.5084 centimetres
Average Wave Height = 7.8178 centimetres
rms Wave Height = 6.9547 centimetres
Average of Highest 1/10 = 15.8857 centimetres

=====
Nama File: W3H1.3T1.3.xls
=====

Wave Characteristic
+++++
Average Wave Period = 2.5196 seconds
Wave Peak Period = 2.0478 seconds
Mean Zero Crossing Period = 2.4695 seconds
Significant Wave Height = 12.7500 centimetres
Maximum Wave Height = 22.5676 centimetres
Zero Moment Wave Height = 12.7500 centimetres
Average Wave Height = 7.9688 centimetres
rms Wave Height = 7.0890 centimetres
Average of Highest 1/10 = 16.1925 centimetres

=====
Nama File: W3H1.3T1.5.xls
=====

Wave Characteristic
+++++
Average Wave Period = 2.6296 seconds
Wave Peak Period = 1.9003 seconds
Mean Zero Crossing Period = 2.4972 seconds
Significant Wave Height = 11.3988 centimetres
Maximum Wave Height = 20.1760 centimetres
Zero Moment Wave Height = 11.3988 centimetres
Average Wave Height = 7.1243 centimetres
rms Wave Height = 6.3378 centimetres
Average of Highest 1/10 = 14.4765 centimetres

=====
Nama File: W3H1.5T1.1.xls

=====

Wave Characteristic

+++++

Average Wave Period	=	2.1620	seconds
Wave Peak Period	=	1.9558	seconds
Mean Zero Crossing Period	=	2.1349	seconds
Significant Wave Height	=	14.2104	centimetres
Maximum Wave Height	=	25.1525	centimetres
Zero Moment Wave Height	=	14.2104	centimetres
Average Wave Height	=	8.8815	centimetres
rms Wave Height	=	7.9010	centimetres
Average of Highest 1/10	=	18.0473	centimetres

=====

Nama File: W3H1.5T1.3.xls

=====

Wave Characteristic

+++++

Average Wave Period	=	2.5714	seconds
Wave Peak Period	=	2.1580	seconds
Mean Zero Crossing Period	=	2.5371	seconds
Significant Wave Height	=	14.2041	centimetres
Maximum Wave Height	=	25.1412	centimetres
Zero Moment Wave Height	=	14.2041	centimetres
Average Wave Height	=	8.8775	centimetres
rms Wave Height	=	7.8975	centimetres
Average of Highest 1/10	=	18.0392	centimetres

=====

Nama File: W3H1.5T1.5.xls

=====

Wave Characteristic

+++++

Average Wave Period	=	2.6137	seconds
Wave Peak Period	=	1.8162	seconds
Mean Zero Crossing Period	=	2.4715	seconds
Significant Wave Height	=	13.1174	centimetres
Maximum Wave Height	=	23.2177	centimetres
Zero Moment Wave Height	=	13.1174	centimetres
Average Wave Height	=	8.1983	centimetres
rms Wave Height	=	7.2932	centimetres
Average of Highest 1/10	=	16.6590	centimetres

=====

Nama File: W3H1.7T1.1.xls

=====

Wave Characteristic

+++++

Average Wave Period	=	2.1283	seconds
---------------------	---	--------	---------

Wave Peak Period	=	1.6852	seconds
Mean Zero Crossing Period	=	2.0795	seconds
Significant Wave Height	=	14.9641	centimetres
Maximum Wave Height	=	26.4865	centimetres
Zero Moment Wave Height	=	14.9641	centimetres
Average Wave Height	=	9.3526	centimetres
rms Wave Height	=	8.3201	centimetres
Average of Highest 1/10	=	19.0044	centimetres

=====

Nama File: W3H1.7T1.3.xls

=====

Wave Characteristic

+++++

Average Wave Period	=	2.4518	seconds
Wave Peak Period	=	1.7722	seconds
Mean Zero Crossing Period	=	2.3643	seconds
Significant Wave Height	=	15.0010	centimetres
Maximum Wave Height	=	26.5518	centimetres
Zero Moment Wave Height	=	15.0010	centimetres
Average Wave Height	=	9.3756	centimetres
rms Wave Height	=	8.3406	centimetres
Average of Highest 1/10	=	19.0513	centimetres

=====

Nama File: W3H1.7T1.5.xls

=====

Wave Characteristic

+++++

Average Wave Period	=	2.6450	seconds
Wave Peak Period	=	1.6329	seconds
Mean Zero Crossing Period	=	2.4738	seconds
Significant Wave Height	=	15.1000	centimetres
Maximum Wave Height	=	26.7269	centimetres
Zero Moment Wave Height	=	15.1000	centimetres
Average Wave Height	=	9.4375	centimetres
rms Wave Height	=	8.3956	centimetres
Average of Highest 1/10	=	19.1769	centimetres

=====

Nama File: W3H2.0T1.1.xls

=====

Wave Characteristic

+++++

Average Wave Period	=	2.1588	seconds
Wave Peak Period	=	1.7147	seconds
Mean Zero Crossing Period	=	2.1293	seconds
Significant Wave Height	=	17.6380	centimetres
Maximum Wave Height	=	31.2192	centimetres
Zero Moment Wave Height	=	17.6380	centimetres
Average Wave Height	=	11.0237	centimetres
rms Wave Height	=	9.8067	centimetres

Average of Highest 1/10 = 22.4002 centimetres

=====
Nama File: W3H2.0T1.3.xls
=====

Wave Characteristic

+++++
Average Wave Period = 2.2324 seconds
Wave Peak Period = 1.6299 seconds
Mean Zero Crossing Period = 2.0852 seconds
Significant Wave Height = 17.0641 centimetres
Maximum Wave Height = 30.2034 centimetres
Zero Moment Wave Height = 17.0641 centimetres
Average Wave Height = 10.6651 centimetres
rms Wave Height = 9.4876 centimetres
Average of Highest 1/10 = 21.6714 centimetres

=====
Nama File: W3H2.0T1.5.xls
=====

Wave Characteristic

+++++
Average Wave Period = 2.8494 seconds
Wave Peak Period = 1.6650 seconds
Mean Zero Crossing Period = 2.7107 seconds
Significant Wave Height = 18.0591 centimetres
Maximum Wave Height = 31.9647 centimetres
Zero Moment Wave Height = 18.0591 centimetres
Average Wave Height = 11.2870 centimetres
rms Wave Height = 10.0409 centimetres
Average of Highest 1/10 = 22.9351 centimetres

End of analysis result

Berat model = 4.6 Kg (Hexa3)

Wave and Response Analysis - FlumeTank@2011

Beginning of analysis result

```
=====
Nama File: W4.6H1.1T1.1.xls
=====
```

Wave Characteristic

```
+++++
Average Wave Period      = 2.1902 seconds
Wave Peak Period        = 2.0324 seconds
Mean Zero Crossing Period = 2.1763 seconds
Significant Wave Height  = 10.6575 centimetres
Maximum Wave Height      = 18.8637 centimetres
Zero Moment Wave Height  = 10.6575 centimetres
Average Wave Height      = 6.6609 centimetres
rms Wave Height          = 5.9256 centimetres
Average of Highest 1/10  = 13.5350 centimetres
```

```
=====
Nama File: W4.6H1.1T1.3.xls
=====
```

Wave Characteristic

```
+++++
Average Wave Period      = 2.5330 seconds
Wave Peak Period        = 2.1559 seconds
Mean Zero Crossing Period = 2.4911 seconds
Significant Wave Height  = 10.9818 centimetres
Maximum Wave Height      = 19.4378 centimetres
Zero Moment Wave Height  = 10.9818 centimetres
Average Wave Height      = 6.8636 centimetres
rms Wave Height          = 6.1059 centimetres
Average of Highest 1/10  = 13.9469 centimetres
```

```
=====
Nama File: W4.6H1.1T1.5.xls
=====
```

Wave Characteristic

```
+++++
Average Wave Period      = 2.6700 seconds
Wave Peak Period        = 1.9163 seconds
Mean Zero Crossing Period = 2.5425 seconds
Significant Wave Height  = 9.6554 centimetres
Maximum Wave Height      = 17.0900 centimetres
Zero Moment Wave Height  = 9.6554 centimetres
Average Wave Height      = 6.0346 centimetres
rms Wave Height          = 5.3684 centimetres
Average of Highest 1/10  = 12.2623 centimetres
```

=====
Nama File: W4.6H1.3T1.1.xls
=====

Wave Characteristic
+++++
Average Wave Period = 2.1920 seconds
Wave Peak Period = 2.0753 seconds
Mean Zero Crossing Period = 2.1810 seconds
Significant Wave Height = 12.1831 centimetres
Maximum Wave Height = 21.5641 centimetres
Zero Moment Wave Height = 12.1831 centimetres
Average Wave Height = 7.6144 centimetres
rms Wave Height = 6.7738 centimetres
Average of Highest 1/10 = 15.4725 centimetres

=====
Nama File: W4.6H1.3T1.3.xls
=====

Wave Characteristic
+++++
Average Wave Period = 2.5589 seconds
Wave Peak Period = 2.0998 seconds
Mean Zero Crossing Period = 2.5258 seconds
Significant Wave Height = 12.6058 centimetres
Maximum Wave Height = 22.3122 centimetres
Zero Moment Wave Height = 12.6058 centimetres
Average Wave Height = 7.8786 centimetres
rms Wave Height = 7.0088 centimetres
Average of Highest 1/10 = 16.0093 centimetres

=====
Nama File: W4.6H1.3T1.5.xls
=====

Wave Characteristic
+++++
Average Wave Period = 2.6531 seconds
Wave Peak Period = 1.9168 seconds
Mean Zero Crossing Period = 2.5236 seconds
Significant Wave Height = 11.5415 centimetres
Maximum Wave Height = 20.4284 centimetres
Zero Moment Wave Height = 11.5415 centimetres
Average Wave Height = 7.2134 centimetres
rms Wave Height = 6.4171 centimetres
Average of Highest 1/10 = 14.6577 centimetres

=====
Nama File: W4.6H1.5T1.1.xls

=====

Wave Characteristic

+++++

Average Wave Period	=	2.1539	seconds
Wave Peak Period	=	1.8955	seconds
Mean Zero Crossing Period	=	2.1217	seconds
Significant Wave Height	=	13.3011	centimetres
Maximum Wave Height	=	23.5430	centimetres
Zero Moment Wave Height	=	13.3011	centimetres
Average Wave Height	=	8.3132	centimetres
rms Wave Height	=	7.3954	centimetres
Average of Highest 1/10	=	16.8924	centimetres

=====

Nama File: W4.6H1.5T1.3.xls

=====

Wave Characteristic

+++++

Average Wave Period	=	2.5802	seconds
Wave Peak Period	=	2.1287	seconds
Mean Zero Crossing Period	=	2.5537	seconds
Significant Wave Height	=	14.1331	centimetres
Maximum Wave Height	=	25.0155	centimetres
Zero Moment Wave Height	=	14.1331	centimetres
Average Wave Height	=	8.8332	centimetres
rms Wave Height	=	7.8580	centimetres
Average of Highest 1/10	=	17.9490	centimetres

=====

Nama File: W4.6H1.5T1.5.xls

=====

Wave Characteristic

+++++

Average Wave Period	=	2.5832	seconds
Wave Peak Period	=	1.8159	seconds
Mean Zero Crossing Period	=	2.4401	seconds
Significant Wave Height	=	13.2620	centimetres
Maximum Wave Height	=	23.4738	centimetres
Zero Moment Wave Height	=	13.2620	centimetres
Average Wave Height	=	8.2888	centimetres
rms Wave Height	=	7.3737	centimetres
Average of Highest 1/10	=	16.8428	centimetres

=====

Nama File: W4.6H1.7T1.1.xls

=====

Wave Characteristic

+++++

Average Wave Period	=	2.1527	seconds
---------------------	---	--------	---------

Wave Peak Period	=	1.7108	seconds
Mean Zero Crossing Period	=	2.1222	seconds
Significant Wave Height	=	15.3946	centimetres
Maximum Wave Height	=	27.2484	centimetres
Zero Moment Wave Height	=	15.3946	centimetres
Average Wave Height	=	9.6216	centimetres
rms Wave Height	=	8.5594	centimetres
Average of Highest 1/10	=	19.5511	centimetres

=====

Nama File: W4.6H1.7T1.3.xls

=====

Wave Characteristic

+++++

Average Wave Period	=	2.5519	seconds
Wave Peak Period	=	1.9064	seconds
Mean Zero Crossing Period	=	2.5052	seconds
Significant Wave Height	=	15.7436	centimetres
Maximum Wave Height	=	27.8663	centimetres
Zero Moment Wave Height	=	15.7436	centimetres
Average Wave Height	=	9.8398	centimetres
rms Wave Height	=	8.7535	centimetres
Average of Highest 1/10	=	19.9944	centimetres

=====

Nama File: W4.6H1.7T1.5.xls

=====

Wave Characteristic

+++++

Average Wave Period	=	2.5873	seconds
Wave Peak Period	=	1.6876	seconds
Mean Zero Crossing Period	=	2.4277	seconds
Significant Wave Height	=	14.8081	centimetres
Maximum Wave Height	=	26.2103	centimetres
Zero Moment Wave Height	=	14.8081	centimetres
Average Wave Height	=	9.2550	centimetres
rms Wave Height	=	8.2333	centimetres
Average of Highest 1/10	=	18.8062	centimetres

=====

Nama File: W4.6H2.0T1.1.xls

=====

Wave Characteristic

+++++

Average Wave Period	=	2.1645	seconds
Wave Peak Period	=	1.6507	seconds
Mean Zero Crossing Period	=	2.1377	seconds
Significant Wave Height	=	17.4255	centimetres
Maximum Wave Height	=	30.8432	centimetres
Zero Moment Wave Height	=	17.4255	centimetres

Average Wave Height = 10.8909 centimetres
rms Wave Height = 9.6886 centimetres
Average of Highest 1/10 = 22.1304 centimetres
=====

Nama File: W4.6H2.0T1.3.xls
=====

Wave Characteristic

+++++
Average Wave Period = 2.2844 seconds
Wave Peak Period = 1.6289 seconds
Mean Zero Crossing Period = 2.1373 seconds
Significant Wave Height = 16.7719 centimetres
Maximum Wave Height = 29.6863 centimetres
Zero Moment Wave Height = 16.7719 centimetres
Average Wave Height = 10.4824 centimetres
rms Wave Height = 9.3252 centimetres
Average of Highest 1/10 = 21.3003 centimetres

=====

Nama File: W4.6H2.0T1.5.xls
=====

Wave Characteristic

+++++
Average Wave Period = 2.7805 seconds
Wave Peak Period = 1.6531 seconds
Mean Zero Crossing Period = 2.6239 seconds
Significant Wave Height = 18.5065 centimetres
Maximum Wave Height = 32.7564 centimetres
Zero Moment Wave Height = 18.5065 centimetres
Average Wave Height = 11.5665 centimetres
rms Wave Height = 10.2896 centimetres
Average of Highest 1/10 = 23.5032 centimetres

End of analysis result

LAMPIRAN 4

Perhitungan nilai parameter yang digunakan

Model	HEXA1
Berat (Kg)	2.6
Volume (m3)	0.001888
Berat jenis Model	1377
Berat jenis air	998
Berat jenis relatif	0.379
Dn	0.124
g	9.81

HEXA1					
Berat	Hi	T	Hi/gT ²	Hi/ΔDn	K _D
Kg	meter	detik			
2.6	0.108	2.037	0.00266	1.862	6.17
2.6	0.124	2.085	0.00290	2.122	9.13
2.6	0.141	1.910	0.00394	2.421	13.56
2.6	0.150	1.718	0.00516	2.567	16.17
2.6	0.179	1.851	0.00532	3.072	27.71
2.6	0.109	2.234	0.00223	1.876	6.31
2.6	0.128	2.152	0.00281	2.193	10.08
2.6	0.141	2.084	0.00331	2.424	13.61
2.6	0.148	1.703	0.00519	2.538	15.62
2.6	0.179	1.653	0.00666	3.065	27.51
2.6	0.095	1.922	0.00263	1.638	4.20
2.6	0.113	1.872	0.00329	1.943	7.01
2.6	0.132	1.752	0.00438	2.261	11.04
2.6	0.150	1.627	0.00578	2.578	16.37
2.6	0.178	1.694	0.00634	3.064	27.49

Model	HEXA2
Berat (Kg)	3
Volume (m3)	0.001888
Berat jenis Model	1589
Berat jenis air	998
Berat jenis relatif	0.591
Dn	0.124
g	9.81

HEXA2					
Berat	Hi	T	Hi/gT ²	Hi/ΔDn	K _D
Kg	meter	detik			
3	0.108	2.062	0.00258	1.187	1.60
3	0.125	2.074	0.00296	1.378	2.50
3	0.142	1.956	0.00379	1.565	3.66
3	0.150	1.685	0.00537	1.648	4.28
3	0.176	1.715	0.00612	1.943	7.00
3	0.109	2.137	0.00242	1.195	1.63
3	0.128	2.048	0.00310	1.404	2.65
3	0.142	2.158	0.00311	1.564	3.66
3	0.150	1.772	0.00487	1.652	4.31
3	0.171	1.630	0.00655	1.879	6.34
3	0.095	1.944	0.00256	1.046	1.09
3	0.114	1.900	0.00322	1.255	1.89
3	0.131	1.856	0.00388	1.445	2.88
3	0.151	1.633	0.00577	1.663	4.39
3	0.181	1.665	0.00664	1.989	7.52

Model	HEXA3
Berat (Kg)	4.6
Volume (m3)	0.002782
Berat jenis Model	1653.4926
Berat jenis air	998
Berat jenis relatif	0.656
Dn	0.141
g	9.81

HEXA3					
Berat	Hi	T	Hi/gT ²	Hi/ΔDn	K _D
Kg	meter	detik			
4.6	0.107	2.032	0.00263	0.930	0.77
4.6	0.122	2.075	0.00288	1.063	1.15
4.6	0.133	1.895	0.00378	1.160	1.49
4.6	0.154	1.711	0.00536	1.343	2.31
4.6	0.174	1.651	0.00652	1.520	3.36
4.6	0.110	2.156	0.00241	0.958	0.84
4.6	0.126	2.200	0.00266	1.100	1.27
4.6	0.141	2.129	0.00318	1.233	1.79
4.6	0.157	1.906	0.00442	1.373	2.48
4.6	0.168	1.629	0.00644	1.463	2.99
4.6	0.097	1.916	0.00268	0.842	0.57
4.6	0.115	1.914	0.00321	1.007	0.98
4.6	0.133	1.816	0.00410	1.157	1.48
4.6	0.148	1.688	0.00530	1.292	2.06

BIODATA PENULIS



Fiqhi Faisal dilahirkan di Mojokerto pada tanggal 23 juni 1994, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai dengan menyelesaikan jenjang Pendidikan Dasar di SDN Mentika V Mojokerto pada tahun 2000-2006. Kemudian melanjutkan pendidikan sekolah di SMPN 1 Kota Mojokerto pada tahun 2006-2009 dan SMAN 3 Kota Mojokerto pada tahun 2009-2012. Setelah lulus SMA pada tahun 2012, penulis diterima di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur undangan dan terdaftar dengan NRP 4312100022. Selama menempuh masa perkuliahan, penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan seperti Himpunan Mahasiswa-Teknik kelautan, OCEANO. Penulis diberi kesempatan untuk memegang amanat sebagai ketua UKM Billiard ITS pada periode 2014/2015. Pada tahun 2015 penulis berkesempatan melaksanakan kerja praktek di Balai Pantai- Badan Penelitian dan Pengembangan SDA, Kementrian Pekerjaan Umum yang berlokasi di Gerokgak, Bali.

Kontak Penulis :

Email : **fiqhifaisal@gmail.com**

Telepon : 083831876128